

**Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СО-
ОБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Кафедра «Изыскания и проектирование железных дорог»

УТВЕРЖДЕНЫ

На заседании кафедры «Изыскания и проектирование
железных дорог»

6 марта 2024г., протокол № 6

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ
РЕШЕНИЙ**

Методические указания по выполнению курсовой работы на тему

«МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА»

для специальности

23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
специализации

«Строительство магистральных железных дорог»

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Расчет величины загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта при производстве строительных работ	5
1.1. Пример расчета величины загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта при производстве строительных работ	8
2. Определение величины платежа за загрязнение атмосферного воздуха выбросами работающих тепловозов	11
2.1. Пример расчета величины платежа за загрязнение атмосферного воздуха выбросами работающих тепловозов.....	15
3. Оценка шумового режима на примагистральной территории	18
3.1. Расчет шумовых характеристик потоков поездов	20
3.2. Пример расчета шумовых характеристик потоков поездов	24
3.3. Выбор расчетных точек	28
3.4. Снижение шума на пути распространения	29
3.5. Пример определения величины снижения шума на пути распространения.....	34
4. Проектирование шумозащитного экрана	39
4.1. Длина шумозащитного экрана	39
4.2. Высота шумозащитного экрана	40
4.3. Пример определения параметров шумозащитного экрана	44

Введение

Согласно Постановлению Правительства РФ № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [1], проектная документация на линейные объекты капитального строительства состоит из 10 разделов. Раздел 6 проекта – «Мероприятия по охране окружающей среды» является обязательным.

Все это подтверждает необходимость серьезного изучения вопросов экологического сопровождения проектной документации, поэтому курс «Экологическое обоснование проектных решений», сопровождается выполнением курсовой работы.

Согласно Постановлению [1] Раздел «Мероприятия по охране окружающей среды» должен содержать:

а) результаты оценки воздействия на окружающую среду, обоснование величины санитарного разрыва и результаты расчетов уровня шумового воздействия на прилегающую территорию жилой застройки;

б) перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации линейного объекта, включающий:

- мероприятия по охране атмосферного воздуха;
- мероприятия по охране и рациональному использованию земельных ресурсов и почвенного покрова;
- мероприятия по рациональному использованию и охране вод и водных биоресурсов на пересекаемых линейным объектом реках и иных водных объектах;
- мероприятия по рациональному использованию общераспространенных полезных ископаемых, используемых при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте;
- мероприятия по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов производства и потребления;
- мероприятия по охране недр и континентального шельфа Российской Федерации;
- мероприятия по охране растительного и животного мира, в том числе:
 - мероприятия по сохранению среды обитания животных, путей их миграции, доступа в нерестилища рыб;
 - сведения о местах хранения отвалов растительного грунта, а также местонахождении карьеров, резервов грунта, кавальеров;

- программу производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения всех компонентов экосистемы при строительстве и эксплуатации линейного объекта, а также при авариях на его отдельных участках;
 - программу специальных наблюдений за линейным объектом на участках, подверженных опасным природным воздействиям;
 - конструктивные решения и защитные устройства, предотвращающие попадание животных на территорию электрических подстанций, иных зданий и сооружений линейного объекта, а также под транспортные средства и в работающие механизмы;
 - мероприятия по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения на территории жилой застройки;
- в) перечень и расчет затрат на реализацию природоохранных мероприятий и компенсационных выплат;
- в графической части*
- г) карту-схему с указанием размещения линейного объекта и границ зон с особыми условиями использования территории, мест обитаний животных и растений, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и красные книги субъектов Российской Федерации;
- д) карту-схему границ зон экологического риска и возможного загрязнения окружающей природной среды вследствие аварии на линейном объекте.

В рамках курсовой работы выполняется только раздел «Мероприятия по охране атмосферного воздуха».

Железнодорожный транспорт является потенциальным источником загрязнения атмосферы по двум направлениям:

- выбросы химических загрязняющих веществ и пыли;
- шумовое загрязнение.

В методических указаниях рассмотрен пример расчета величины загрязнений атмосферного воздуха.

Исходные данные для примера расчета приводятся в начале соответствующего примера.

1. Расчет величины загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта при производстве строительных работ

В соответствии с требованиями постановления Правительства РФ от 28.02.2008 № 87 [1] раздел проектной документации «Мероприятия по охране окружающей среды» должен включать в себя перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и по рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации объекта капитального строительства.

Для разработки соответствующих мероприятий необходимо выполнить оценку воздействия в период строительно-монтажных работ на компоненты окружающей среды, в том числе и на атмосферный воздух. Основная доля загрязнений поступает в атмосферный воздух при работе автотранспорта и дорожно-строительной техники.

К автотранспорту относятся: грузовики, самосвалы, автокраны, бетономешалки, различные легковые автомобили и т. д. Дорожно-строительная техника – это бульдозеры, экскаваторы, грейдеры, буровые установки и т. п.

Выбросы осуществляются от двигателей внутреннего сгорания, которые работают обычно на бензине или на дизеле. Источник выделения выбросов – выхлопная труба. Сведения об используемой технике можно получить из раздела ПОС, обычно в нем содержатся в текстовой или табличной форме данные по машинам и механизмам.

Расчет выделений загрязняющих веществ выполнен в соответствии со следующими методическими документами:

- Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, СПб., НИИ Атмосфера, 2005 [2].
- Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом). М, 1998 [3].
- Дополнения к методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом). М, 1999 [4].

При работе дорожно-строительной автотехники и автотранспорта в атмосферный воздух поступают следующие загрязняющие вещества:

Загрязняющее вещество	
Код	Наименование
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)
328	Углерод (Сажа)
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)
337	Углерод оксид
2732	Керосин

Расчет максимальных разовых выбросов i -го вещества осуществляется по формуле:

$$G_i = \sum_{k=1}^k (m_{ДВ\ ik} \cdot t_{ДВ} + 1,3 m_{ДВ\ ik} \cdot t_{НАГР.} + m_{ХХ\ ik} \cdot t_{ХХ}) \cdot N_k / 1800, \text{ г/с} \quad (1.1)$$

- где $m_{ДВ\ ik}$ — удельный выброс i -го вещества при движении машины k -й группы без нагрузки, г/мин;
 $m_{ДВ\ ik}$ — удельный выброс i -го вещества при движении машины k -й группы под нагрузкой, г/мин;
 $m_{ХХ\ ik}$ — удельный выброс i -го вещества при работе двигателя машины k -й группы на холостом ходу, г/мин;
 $t_{ДВ}$ — время движения машины за 30-ти минутный интервал без нагрузки, мин;
 $t_{НАГР.}$ — время движения машины за 30-ти минутный интервал под нагрузкой, мин;
 $t_{ХХ}$ — время работы двигателя машины за 30-ти минутный интервал на холостом ходу, мин;
 N_k — наибольшее количество машин k -й группы одновременно работающих за 30-ти минутный интервал

Из полученных значений G_i выбирается максимальное с учетом одновременности движения дорожных машин разных групп.

Расчет валовых выбросов i -го вещества осуществляется по формуле:

$$M_i = \sum_{k=1}^k (m_{ДВ\ ik} \cdot t'_{ДВ} + 1,3 m_{ДВ\ ik} \cdot t'_{НАГР.} + m_{ХХ\ ik} \cdot t'_{ХХ}) \cdot 10^{-6}, \text{ т/год} \quad (1.2)$$

- где $t'_{ДВ}$ — суммарное время движения без нагрузки всех машин k -й группы, мин;
 $t'_{НАГР.}$ — суммарное время движения под нагрузкой всех машин k -й группы, мин;
 $t'_{ХХ}$ — суммарное время работы двигателей всех машин k -й группы на холостом ходу, мин.

Удельные выбросы загрязняющих веществ при работе дорожно-строительных машин приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Удельные выбросы загрязняющих веществ, г/мин

Тип дорожно-строительной машины	Загрязняющее вещество	Движение	Холостой ход
ДМ колесная, мощностью 101-160 кВт (137-218 л.с.)	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	3,208	0,624
	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,521	0,1014
	Углерод (Сажа)	0,45	0,1
	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,31	0,16
	Углерод оксид	2,09	3,91
	Керосин	0,71	0,49
ДМ гусеничная, мощностью 101-160 кВт (137-218 л.с.)	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	3,208	0,624
	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,521	0,1014
	Углерод (Сажа)	0,45	0,1
	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,31	0,16
	Углерод оксид	2,09	3,91
	Керосин	0,71	0,49
ДМ колесная, мощностью 161-260 кВт (219-354 л.с.)	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	5,176	1,016
	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,841	0,165
	Углерод (Сажа)	0,72	0,17
	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,51	0,25
	Углерод оксид	3,37	6,31
	Керосин	1,14	0,79
ДМ колесная, мощностью 36-60 кВт (49-82 л.с.)	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	1,192	0,232
	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,1937	0,0377
	Углерод (Сажа)	0,17	0,04
	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,12	0,058
	Углерод оксид	0,77	1,44
	Керосин	0,26	0,18

Максимальный разовый выброс i -го вещества представляет сумму выбросов этого вещества каждой единицей строительной техники с учетом одновременности движения дорожных машин разных групп.

$$G_i = \sum_1^k G_k, \text{ г/с} \quad (1.3)$$

$$M_i = \sum_1^k M_k, \text{ т/год} \quad (1.4)$$

1.1. Пример расчета величины загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта при производстве строительных работ

Расчет величины загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта выполняется для площадки работы дорожно-строительных машин (ДМ).

Исходные данные для расчета:

Количество расчётных дней производства работ на строительной площадке – 50.

Перечень дорожно-строительных машин и информация, необходимая для расчета выделений загрязняющих веществ, в соответствии с ПОС, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Комплект дорожно-строительных машин

Наименование ДМ	Тип ДМ	Кол-во	Время работы одной машины							Одновременность
			в течение суток, ч				за 30 мин, мин			
			всего	без нагруз-ки	под нагруз-кой	Холо-стой ход	без нагруз-ки	под нагруз-кой	Холо-стой ход	
Экскаватор Э0332	ДМ колесная, мощностью 101-160 кВт (137-218 л.с.)	1	4	1,73333	1,6	0,66667	13	12	5	+
Бульдозер Четра Т9 МП	ДМ гусеничная, мощностью 101-160 кВт (137-218 л.с.)	1	4	1,73333	1,6	0,66667	13	12	5	+
Автокран КС-55717Б	ДМ колесная, мощностью 161-260 кВт (219-354 л.с.)	1	1	0,43333	0,4	0,16667	13	12	5	-

Расчет годового и максимально разового выделения загрязняющих веществ в атмосферу в соответствии с (1.1) и (1.2) приведен ниже.

Экскаватор Э0332

$$G_{301} = (3,208 \cdot 13 + 1,3 \cdot 3,208 \cdot 12 + 0,624 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0527049 \text{ г/с};$$

$$M_{301} = (3,208 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 3,208 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,624 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,037947 \text{ т/год};$$

$$G_{304} = (0,521 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,521 \cdot 12 + 0,1014 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0085598 \text{ г/с};$$

$$M_{304} = (0,521 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,521 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,1014 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,006163 \text{ т/год};$$

$$G_{328} = (0,45 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,45 \cdot 12 + 0,1 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0074278 \text{ г/с};$$

$$M_{328} = (0,45 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,1 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0053348 \text{ т/год};$$

$$G_{330} = (0,31 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,31 \cdot 12 + 0,16 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,00537 \text{ г/с};$$

$$\begin{aligned} M_{330} &= (0,31 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,31 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,16 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,003866 \text{ т/год}; \\ G_{337} &= (2,09 \cdot 13 + 1,3 \cdot 2,09 \cdot 12 + 3,91 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0440689 \text{ г/с}; \\ M_{337} &= (2,09 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 2,09 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 3,91 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,03173 \text{ т/год}; \\ G_{2732} &= (0,71 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,71 \cdot 12 + 0,49 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0126422 \text{ г/с}; \\ M_{2732} &= (0,71 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,49 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,009102 \text{ т/год}. \end{aligned}$$

Бульдозер Четра Т9 МП

$$\begin{aligned} G_{301} &= (3,208 \cdot 13 + 1,3 \cdot 3,208 \cdot 12 + 0,624 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0527049 \text{ г/с}; \\ M_{301} &= (3,208 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 3,208 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,624 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,037947 \text{ т/год}; \\ G_{304} &= (0,521 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,521 \cdot 12 + 0,1014 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0085598 \text{ г/с}; \\ M_{304} &= (0,521 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,521 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,1014 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,006163 \text{ т/год}; \\ G_{328} &= (0,45 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,45 \cdot 12 + 0,1 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0074278 \text{ г/с}; \\ M_{328} &= (0,45 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,1 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,005348 \text{ т/год}; \\ G_{330} &= (0,31 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,31 \cdot 12 + 0,16 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,00537 \text{ г/с}; \\ M_{330} &= (0,31 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,31 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,16 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,003866 \text{ т/год}; \\ G_{337} &= (2,09 \cdot 13 + 1,3 \cdot 2,09 \cdot 12 + 3,91 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0440689 \text{ г/с}; \\ M_{337} &= (2,09 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 2,09 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 3,91 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,03173 \text{ т/год}; \\ G_{2732} &= (0,71 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,71 \cdot 12 + 0,49 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0126422 \text{ г/с}; \\ M_{2732} &= (0,71 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,733333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 50 + 0,49 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,009102 \text{ т/год}. \end{aligned}$$

Автокран КС-55717Б

$$\begin{aligned} G_{301} &= (5,176 \cdot 13 + 1,3 \cdot 5,176 \cdot 12 + 1,016 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0850631 \text{ г/с}; \\ M_{301} &= (5,176 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,433333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 5,176 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 50 + 1,016 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,166667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0153113 \text{ т/год}; \\ G_{304} &= (0,841 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,841 \cdot 12 + 0,165 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0138209 \text{ г/с}; \\ M_{304} &= (0,841 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,433333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,841 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 50 + 0,165 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,166667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0024878 \text{ т/год}; \\ G_{328} &= (0,72 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,72 \cdot 12 + 0,17 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0119122 \text{ г/с}; \\ M_{328} &= (0,72 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,433333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 50 + 0,17 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,166667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0021442 \text{ т/год}; \\ G_{330} &= (0,51 \cdot 13 + 1,3 \cdot 0,51 \cdot 12 + 0,25 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0087978 \text{ г/с}; \\ M_{330} &= (0,51 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,433333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 0,51 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 50 + 0,25 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,166667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0015836 \text{ т/год}; \\ G_{337} &= (3,37 \cdot 13 + 1,3 \cdot 3,37 \cdot 12 + 6,31 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0710733 \text{ г/с}; \\ M_{337} &= (3,37 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,433333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 3,37 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 50 + 6,31 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,166667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0127932 \text{ т/год}; \end{aligned}$$

$$G_{2732} = (1,14 \cdot 13 + 1,3 \cdot 1,14 \cdot 12 + 0,79 \cdot 5) \cdot 1/1800 = 0,0203078 \text{ г/с};$$

$$M_{2732} = (1,14 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,433333 \cdot 50 + 1,3 \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,4 \cdot 50 + 0,79 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 0,1666667 \cdot 50) \cdot 10^{-6} = 0,0036554 \text{ т/год}.$$

Суммарные выбросы определены по (1.3) и (1.4), при этом максимальный разовый выброс определен с учетом одновременности движения дорожных машин разных групп. Так, например, для диоксида азота:

$$G_{301} = \sum_1^k G_k = 0,0527049 + 0,0527049 = 0,1054098 \text{ г/с (одновременно работают экскаватор Э0332 и бульдозер Четра Т9 МП (см. таблицу 1.2))};$$

$$M_{301} = \sum_1^k M_k = 0,037947 + 0,037947 + 0,0153113 = 0,0912063 \text{ т/год}$$

Результаты расчета приведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 - Характеристика выделений загрязняющих веществ в атмосферу

Загрязняющее вещество		Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование		
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,1054098	0,0912063
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,0171196	0,0148138
328	Углерод (Сажа)	0,0148556	0,0128402
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,01074	0,0093164
337	Углерод оксид	0,0881378	0,0762525
2732	Керосин	0,0252844	0,0218602

2. Определение величины платежа за загрязнение атмосферного воздуха выбросами работающих тепловозов

При работе тепловозов в атмосферный воздух поступают загрязняющие вещества, а именно: сажа, оксид углерода CO и NOx, разлагающийся в атмосферном воздухе на оксид азота NO и диоксид NO2.

Масса *i*-го загрязняющего вещества *M_i* выброшенного в атмосферный воздух за расчетный период, определяется как сумма выбросов этого вещества от всех *j*-ых видов обращающейся по участку нагрузки (тепловозы различных серий, осуществляющие перевозки грузовых груженых и порожних, а также пассажирских вагонов).

$$M_i = \sum M_{ij} \quad (2.1)$$

Для каждого *j*-го вида поезда масса *i*-го загрязняющего веществ *M_{ij}*, т, выброшенных за расчетный период (год), определяется по формуле

$$M_{ij} = m_{ij} \cdot \Sigma Pl \cdot k_v \cdot k_f \cdot k_t \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где m_{ij} – удельный выброс загрязняющего *i*-го вещества одной секцией тепловоза *j*-серии за единицу грузовой или пассажирской работы, приведенный к единому измерителю (кг вещества/1 тыс. т·км брутто) для грузовых поездов и (кг вещества/1 тыс. пасс.км) для пассажирских поездов. Эта величина определяется для грузовых поездов по рисункам 2.1 – 2.3 для каждого участка обращения в зависимости от фактического или среднего значений весов перевозимых поездов. Для пассажирских поездов значение принимается по таблице 2.1. При использовании в перевозочном процессе двухсекционных тепловозов значения удельных выбросов удваиваются, а для трехсекционных утраивается;

k_v – коэффициент влияния скорости движения поездов на участке обращения, в курсовом проекте принимается $k_v = 1$;

k_f – коэффициент влияния технического состояния тепловозов, в курсовом проекте принимается $k_f = 1,2$;

k_t – коэффициент влияния климатических условий работы тепловозов. Принимается $k_t = 1,2$ для районов, расположенных южнее 44° северной широты; $k_t = 0,8$ – для районов севернее 60° северной широты; для остальных районов коэффициент принимается $k_t = 1,0$;

ΣPl – объем работы, выполненной тепловозом данной серии за расчетный период грузовой работы на рассматриваемом участке, тыс. т·км в год, рассчитывается по формуле (2.3)

$$\Sigma Pl = N \cdot P \cdot L_{\text{уч}} \cdot 365 \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

где N – количество поездов в сутки, шт.;
 P – вес поезда (груженого или порожнего), т;
 $L_{\text{уч}}$ – длина участка, км.

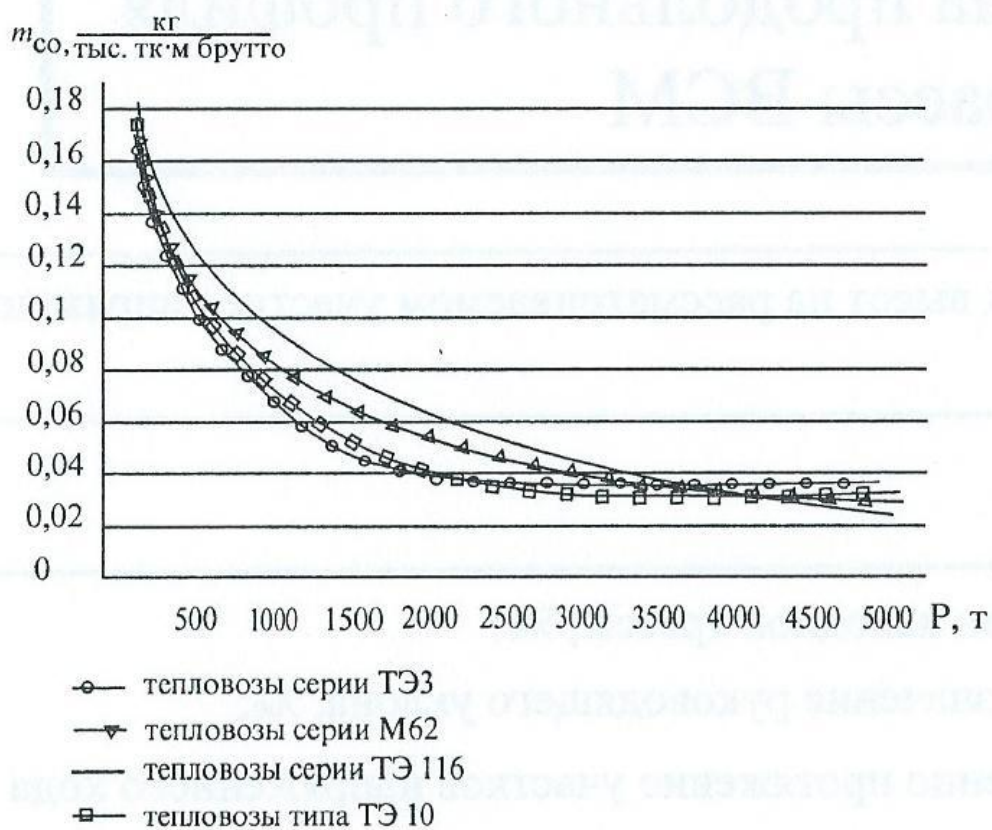


Рисунок 2.1- Изменение значений удельных выбросов CO грузовыми тепловозами в зависимости от массы перевозимых поездов

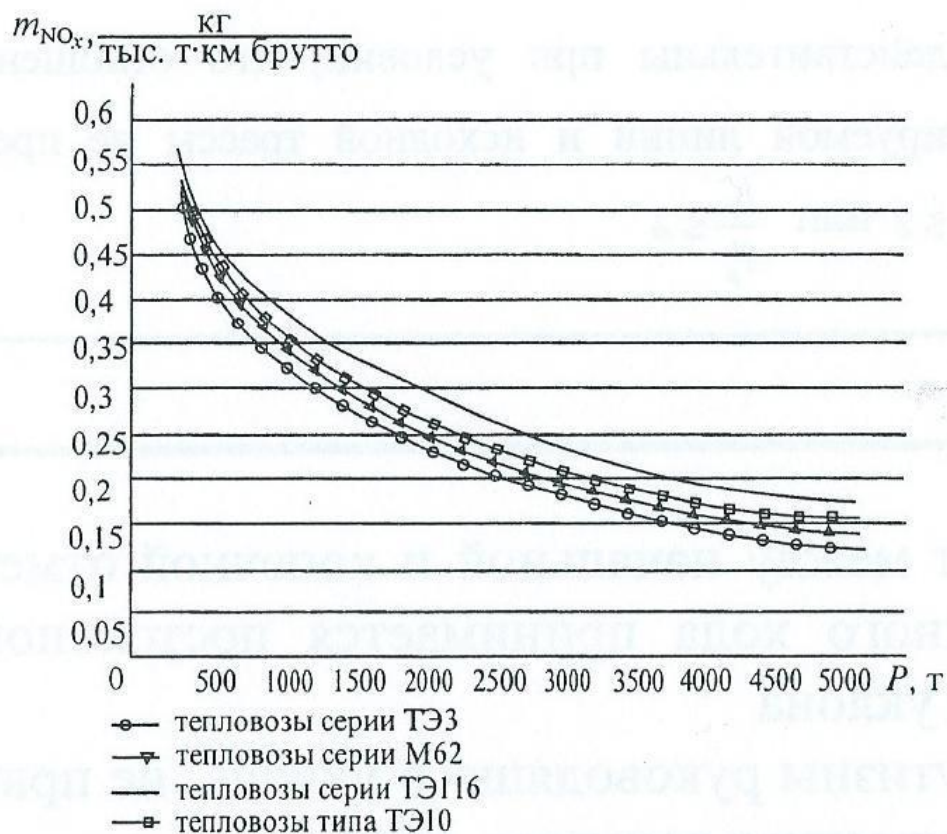


Рисунок 2.2 - Изменение значений удельных выбросов NO_x грузовыми тепловозами в зависимости от массы перевозимых поездов

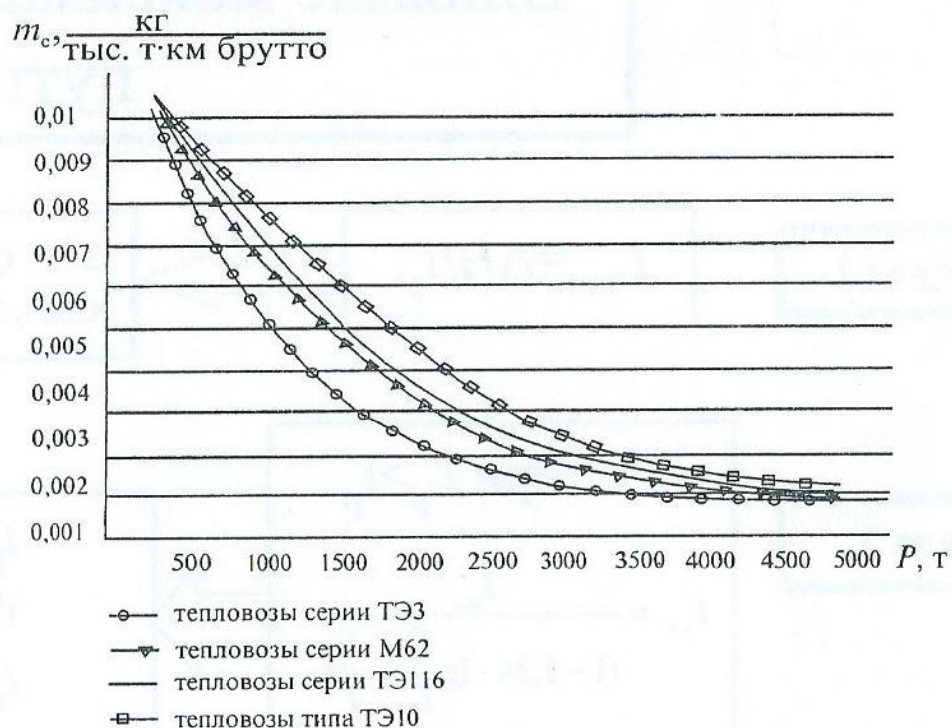


Рисунок 2.3 - Изменение значений удельных выбросов сажи грузовыми тепловозами в зависимости от массы перевозимых поездов

Таблица 2.1 - Значения удельных выбросов загрязняющих веществ одной секцией тепловоза за единицу пассажирской работы

Тип тепловоза	Загрязняющие вещества	Значения удельных выбросов m_{ij} , кг вещества / 1 тыс. пасс. км
ТЭП60	СО	0,041
	NO _x	0,210
	Сажа	0,002
ТЭП70	СО	0,038
	NO _x	0,230
	Сажа	0,003
ТЭП75	СО	0,036
	NO _x	0,210
	Сажа	0,003

Поступающий в атмосферный воздух от двигателя работающего тепловоза NO_x, распадается на оксид азота NO и диоксид NO₂, для определения массы выброса которых следует применять коэффициенты трансформации 0,13 и 0,8 соответственно, т.е. диоксид азота NO₂ = 0,8 NO_x, а оксид азота NO = 0,13 NO_x.

Величина платежа П, руб/год, за выброс в атмосферный воздух, определяется как сумма величин платежей П_і от выбросов в атмосферный воздух каждого из і видов загрязняющих вещества (сажа, оксид углерода СО, оксид азота NO и диоксид NO₂), определенных по формуле:

$$P_i = M_i \cdot C_i \cdot k_{\text{доп}}, \quad (1)$$

- где M_i – масса i -го загрязняющего вещества выброшенного в атмосферный воздух за расчетный период, т;
 C_i – норматив платы за выброс 1 т загрязняющих веществ, руб/тонна, определяемый по таблице 2.2;
 $k_{\text{доп}}$ – дополнительный коэффициент при выбросе загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов, в курсовом проекте принимается $k_{\text{доп}} = 1$.

Нормативы платы за выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух, приведенные в таблице 2.2, определены Постановлением Правительства РФ от 13 сентября 2016 г. № 913 "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах".

Таблица 2.2 - Норматив платы за выброс 1 т загрязняющих веществ

Наименование загрязняющих веществ	Нормативы платы C_i за выброс 1 тонны загрязняющих веществ, руб/тонна		
	2016	2017	2018
Сажа	14,5	15,1	15,1
Оксид углерода CO	1,5	1,6	1,6
Оксид азота NO	89,6	93,5	93,5
Диоксид азота NO ₂	133,1	138,8	138,8

Ежегодно Правительство РФ публикует Постановление, в котором приводятся дополнительные коэффициенты к ставкам платы, установленным в Постановлении № 913 на 2018 год.

На 2024 год в Постановлении Правительства РФ от 17.04.2024 № 492 применяются ставки платы, утвержденные данным документом, установленные на **2018 год**, с использованием дополнительно к иным коэффициентам коэффициента **1,32**.

2.1. Пример расчета величины платежа за загрязнение атмосферного воздуха выбросами работающих тепловозов

Исходные данные для расчета:

Район проектирования - Архангельская область

Длина проектируемого участка составляет 7 км.

Планируемые объемы перевозок: 9 пар грузовых поездов в сутки, сборных – 1 пара поездов в сутки. Пассажирских поездов – 3 пары поездов в сутки (6 шт.).

В перевозочном процессе используются двухсекционные тепловозы 2ТЭ116, а значит, значения удельных выбросов следует удвоить (в формулу введен коэффициент 2).

Пассажирское движение осуществляется тепловозом ТЭП 70.

Вес груженого поезда – 4500 т, порожнего поезда - 1500 т, пассажирского – 1200 т.

Таким образом, по проектируемому участку в сутки будут обращаться $9 + 1 = 10$ пар грузовых поездов, при этом количество груженых и порожних поездов примем одинаковым по – 10 штук.

Удельный выброс загрязняющего i -го вещества одной секцией тепловоза j -ой серии за единицу работы m_{ij} (см. рисунки 2.1-2.3 и таблицу 2.1) составляет:

- от грузовых груженых поездов:

$$m_{CO} = 0,03 \text{ кг/1 тыс. т} \cdot \text{км}; m_{NOx} = 0,18 \text{ кг/1 тыс. т} \cdot \text{км}; m_{сажа} = 0,0013 \text{ кг/1 тыс. т} \cdot \text{км}$$

- от грузовых порожних поездов:

$$m_{CO} = 0,08 \text{ кг/1 тыс. т} \cdot \text{км}; m_{NOx} = 0,33 \text{ кг/1 тыс. т} \cdot \text{км}; m_{сажа} = 0,005 \text{ кг/1 тыс. т} \cdot \text{км}$$

- от пассажирских поездов:

$m_{CO} = 0,038$ кг/1 тыс. пасс км; $m_{NO_x} = 0,23$ кг/1 тыс. пасс км; $m_{сажа} = 0,003$ кг/1 тыс. пасс км.

Результаты расчета количества вредных веществ, выделяющихся от магистральных тепловозов на проектируемом участке приведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет количества вредных веществ, выделяющихся от магистральных тепловозов на проектируемом участке

Наименование показателя	Единица измер.	Обозначение и расчетная формула	Величина
1. Исходные данные.			
Количество поездов в сутки	шт.	N	10
• грузовых • пассажирских			6
Вес поезда:	т	P	
• груженого • порожнего • пассажирского			4500
			1500
			1200
Длина участка:	км	$L_{уч}$	7
Коэффициент влияния скорости движения		k_v	1,0
Коэффициент влияния технического состояния		k_f	1,2
Коэффициент влияния климатических условий работы		k_t	0,8
2. Годовое выделение	т/год	$M = \sum P \times m_{ij} \times k_v \times k_f \times k_t \times 10^{-3}$	
Грузовые груженные поезда (2ТЭ116)			
CO	т/год	$M_1 = ([10 \times 7] \times 4500 \times 365 \times 10^{-3}) \times 2 \times 0,03 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	6,6
NO _x	т/год	$M_1 = ([10 \times 7] \times 4500 \times 365 \times 10^{-3}) \times 2 \times 0,18 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	39,7
Сажа	т/год	$M_1 = ([10 \times 7] \times 4500 \times 365 \times 10^{-3}) \times 2 \times 0,0013 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	0,3
Грузовые порожние поезда (2ТЭ116)			
CO	т/год	$M_2 = ([10 \times 7] \times 1500 \times 365 \times 10^{-3}) \times 2 \times 0,08 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	5,9
NO _x	т/год	$M_2 = ([10 \times 7] \times 1500 \times 365 \times 10^{-3}) \times 2 \times 0,33 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	24,3
Сажа	т/год	$M_2 = ([10 \times 7] \times 1500 \times 365 \times 10^{-3}) \times 2 \times 0,005 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	0,4

Наименование показателя	Единица измер.	Обозначение и расчетная формула	Величина
Пассажирские поезда (ТЭП 70)			
CO	т/год	$M_3 = ([6 \times 7] \times 1200 \times 365 \times 10^{-3}) \times 0,038 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	0,6
NO _x	т/год	$M_3 = ([6 \times 7] \times 1200 \times 365 \times 10^{-3}) \times 0,230 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	4,1
Сажа	т/год	$M_3 = ([6 \times 7] \times 1200 \times 365 \times 10^{-3}) \times 0,003 \times 1 \times 1,2 \times 0,8 \times 10^{-3}$	0,1
3. Суммарное годовое выделение	т/год	$M = M_1 + M_2 + M_3$	
CO	т/год	$M = 6,6 + 5,9 + 0,6$	13,1
NO _x	т/год	$M = 39,7 + 24,3 + 4,1$	68,1
Сажа	т/год	$M = 0,3 + 0,4 + 0,1$	0,8

В атмосферном воздухе 68,1 т NO_x разлагаются на оксид азота NO и диоксид NO₂.

$$NO = 0,13 NO_x = 0,13 \times 68,1 = 8,9 \text{ т/год}$$

$$NO_2 = 0,8 NO_x = 0,8 \times 68,1 = 54,5 \text{ т/год}$$

Результаты расчета величины ущерба приведены в таблицу 2.4:

Таблица 2.4 - Расчет величины ущерба причиняемого выбросами в атмосферный воздух из двигателей работающих тепловозов

Наименование загрязняющих веществ	Масса загрязняющего вещества M _i выброшенных в атмосферный воздух, т/год	Нормативы платы C _i за выброс 1 тонны загрязняющих веществ, руб/тонна	Величина платежа П _i за выброс в атмосферный воздух загрязняющего вещества, руб/год на 2024 год
Сажа	0,8	15,1 х 1,32	15,95
Оксид углерода CO	13,1	1,6 х 1,32	27,67
Оксид азота NO	8,9	93,5 х 1,32	1098,44
Диоксид азота NO ₂	54,5	138,8 х 1,32	9985,27
			11127,32

Таким образом, ежегодная величина ущерба, причиняемая выбросами в атмосферный воздух из двигателей работающих тепловозов на 2024 год составляет 11127 рублей.

3. Оценка шумового режима на примагистральной территории

На стадии разработки проектных решений необходимо прогнозирование шумовых характеристик будущих транспортных потоков и других источников шумового воздействия.

Для разработки мероприятий по защите от шума необходимо знать шумовые характеристики источников шума и закономерности его распространения в различных условиях, а также допустимые уровни шума для различных мест и обстоятельств.

Расчет шума на примагистральной территории выполняют с целью оценки шума на селитебной территории, определения санитарных разрывов для железнодорожных магистралей, составления оперативных шумовых карт разработки шумозащитных мероприятий в соответствии с требованиями соответствующих национальных стандартов и нормативных документов.

По временным характеристикам шуму относятся:

- к непостоянным (от железнодорожного и автомобильного транспорта, а также промышленных операций);
- к постоянным (от систем кондиционирования и приточно-вытяжной вентиляции, дизельной электростанции, КТП и технологического оборудования внутри зданий и пр.).

Для оценки уровней шума используется эквивалентный и максимальный уровни звука, выражаемый в дБА.

Важное условие при правильной оценке шумовой характеристики – выбор отрезка времени, за который определяются эквивалентные уровни звука источников шума.

Если работа источника шума не имеет циклического характера, то наиболее целесообразно его шумовые характеристики относить к дневному и ночному периоду суток (обычно принимается: день – с 7 до 23 часов и ночь – с 23 до 7 часов).

Нормативный документ для расчета уровня шума: ГОСТ 33325-2015 ШУМ. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом [5].

Определение шумовых характеристик потоков поездов проводят с целью получения исходных данных для расчета шума, создаваемого железнодорожным транспортом на примагистральных территориях.

Шумовыми характеристиками потоков поездов являются:

- эквивалентный уровень звука за время оценки $L_{Aeq25,k}$;
- часовой эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,1h}$;
- максимальный уровень звука L_{Amax25} ;
- максимальный уровень звука за время оценки $L_{Amax25,k}$;
- часовые эквивалентные уровни звукового давления $L_{eq25,1h}$;

- эквивалентные за время оценки $L_{eq25,k}$ уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 63 до 8000 Гц, определяемые на расстоянии 25 м от оси ближнего железнодорожного пути на высоте 1,5 м над поверхностью земли (при выполнении курсовой работы не выполняется).

Для оценки шумового режима на территории жилых, общественно-деловых и рекреационных зон и в помещениях жилых и общественных зданий, прилегающих к железной дороге, применяют два вида шумовых характеристик потоков железнодорожных поездов:

- шумовые характеристики, определенные за время оценки $T=1$ ч;
- шумовые характеристики, определенные за время оценки T , отличное от 1 ч.

Время оценки выбирают так, чтобы охватить периоды наиболее интенсивного движения поездов как в дневной, так и в ночной период суток.

Шумовые характеристики отдельных поездов определяют в зависимости от категории, длины поезда и скорости его движения.

В расчет принимают коррекции на тип пути, конструкцию поезда, прохождение кривых участков и железнодорожных мостов.

Категории подвижного состава, поездов, для которых рассчитывают шумовые характеристики, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Классификация категорий подвижного состава, поездов

Категория	Тип подвижного состава, поезда	Диапазон скоростей для расчета шумовых характеристик, км/ч
1	Пассажирский поезд	От 0 до 160 включительно
2	Грузовой поезд	От 0 до 90 включительно
3	Моторвагонный железнодорожный подвижной состав (электropоезд, дизель-поезд)	От 0 до 160 включительно
4	Скоростной железнодорожный подвижной состав	От 0 до 200 включительно
5а	Высокоскоростной железнодорожный подвижной состав	От 0 до 250 включительно
5б		Св. 250 до 400 включительно

Нормы допустимого шума на территории и в помещениях регламентируются нормативными документами (например, СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1) [6], в которых приведены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки.

Таблица 2.2 - Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровень звука (эквивалентный уровень звука), дБА	Максимальный уровень звука, дБА
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	7.00-23.00	45	60
	23.00-7.00	35	50
Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха, домам-интернатам для престарелых и инвалидов, пансионатам	7.00-23.00	55	70
	23.00-7.00	45	60
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки дошкольных образовательных организаций и других образовательных организаций		55	70

Шум железнодорожных поездов на территории прилегающей застройки, оценивается отдельно для дня и ночи.

Шумовой характеристикой потоков железнодорожных поездов является эквивалентный и максимальный уровни звука, на расстоянии 25 м от оси железнодорожного пути, ближнего к расчетной точке.

На многопутных участках железной дороги и при отсутствии данных по суточной интенсивности движения поездов применительно для дневного и ночного времени суток по каждому из них необходимо учитывать количество поездов, проходящих за оцениваемый период времени в обоих направлениях.

3.1. Расчет шумовых характеристик потоков поездов

Расчет эквивалентного уровня звука

Эквивалентный уровень звука, L_{iAeq25} , создаваемого отдельными поездами i -й категории на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, вычисляют по формулам:

- для пассажирских поездов (категория 1):

$$L_{1,Aeq25} = 25,3 \lg v_1 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_1}{25} \right) \right\} + 33,3 \quad (3.1)$$

- для грузовых поездов (категория 2):

$$L_{2,Aeq25} = 20,41 \lg v_2 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_2}{25} \right) \right\} + 46 \quad (3.2)$$

- для моторвагонного подвижного состава (категория 3):

$$L_{3,Aeq25} = 28,9 \lg v_3 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_3}{25} \right) \right\} + 28 \quad (3.3)$$

- для подвижного состава категории 4:

$$L_{4,Aeq25} = 41,1 \lg v_{4,5a} + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_4}{25} \right) \right\} - 12,3 \quad (3.4)$$

где $v_{1,2,3,4}$ – скорость движения поезда категорий 1, 2, 3, 4 км/ч;
 $l_{1,2,3,4}$ – длина поезда категорий 1, 2, 3, 4, м.

При отсутствии конкретных данных допускается принимать следующие расчетные длины поездов:

- для поездов категории 1 $l_1 = 500$ м;
- для поездов категории 2 $l_2 = 1200$ м;
- для поездов категории 3 $l_3 = 200$ м;
- для поездов категории 4 $l_4 = 250$ м;

Для учета характера пути к рассчитанным по формулам (3.1) – (3.4) значениям $L_{i,Aeq25}$ прибавляют следующие коррекции:

$\Delta L_{\text{путь}}$ – коррекция на тип пути, дБА, принимаемая по таблице 3.3;

$\Delta L_{\text{кр}}$ – коррекция на радиус криволинейных участков пути, дБА, принимаемая по таблице 3.4;

$\Delta L_{\text{мост}}$ – коррекция на тип моста, дБА, принимаемая по таблице 3.5.

Таблица 3.3 Коррекция на тип пути

Тип пути	Коррекция $\Delta L_{\text{путь}}$, дБА
Путь с бетонными шпалами	0
Путь с деревянными шпалами	-2
Путь на железобетонных плитах	+3

При наличии криволинейных участков железнодорожного пути в шумовую характеристику поездов вносят коррекцию $\Delta L_{\text{кр}}$ в соответствии с таблице 2.4.

Таблица 2.4 Коррекция на радиус криволинейных участков пути

Радиус криволинейного участка пути, м	Коррекция $\Delta L_{\text{кр}}$ дБА
Менее 300	8
От 300 до 650	3
Более 650	0

При проходе поездом моста уровень излучаемого шума возрастает в зависимости от типа моста, что учитывают с помощью коррекции $\Delta L_{\text{мост}}$, дБА, по таблице 2.5.

Таблица 2.5 Коррекция на тип моста

Тип моста	Коррекция $\Delta L_{\text{мост}},$ дБА
Мост с металлическими пролетными строениями с безбалластным мостовым полотном	10
Мост с металлическими пролетными строениями с ездой на балласте	5
Мост с железобетонными пролетными строениями с ездой на балласте	3
Мост с железобетонными пролетными строениями с ездой на балласте и подбалластными матами	0
Мост с железобетонными пролетными строениями с массивными опорами	0

Часовой эквивалентный уровень звука

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{i,Aeq,1h,l}$ потока поездов i -й категории, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа, вычисляют по формуле:

$$L_{i,Aeq25,1h,l} = 10 \lg \frac{1}{3600} \sum_{j=1}^{n_{il}} t_{jil} 10^{0,1L_{i,Aeq25,jl}} \quad (3.5)$$

- где $L_{i,Aeq25,jl}$ – эквивалентный уровень звука, дБА, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути j -м поездом i -й категории, проходящим в течение l -го часа;
- n_{il} – число поездов i -й категории, проходящих по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа;
- t_{jil} – время следования j -го поезда i -й категории по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа, с.

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,1h,l}$, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути потоками поездов железнодорожного транспорта всех категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа, вычисляют по формуле:

$$L_{Aeq25,1h,l} = 10 \lg \sum_{j=1}^n 10^{0,1L_{i,Aeq25,1h,l}} \quad (3.6)$$

Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,k}$ за время оценки вычисляют по формуле:

$$L_{Aeq25,k} = 10 \lg \frac{1}{T_k} \sum_{j=1}^{n_k} t_l 10^{0,1L_{i,Aeq25,1h,l}} \quad (3.7)$$

- где T_k – время оценки, ч, принимаемое в соответствии с санитарными нормами

При определении дневного периода времени с 07:00 до 23:00 T_k составляет 16 ч ($n_k=16$). При определении ночного периода времени с 23:00 до 07: T_k составляет 8 ч ($n_k=8$).

Расчет максимального уровня звука

Максимальный уровень звука $L_{i,Aeq25}$, дБА, создаваемый поездами различных категорий на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, рассчитывают по формулам:

– для поездов категории 1:

$$L_{1,Amax25} = 24lgv_1 + 10lg\left\{arctg\left(\frac{l_1}{50}\right)\right\} + 41,2 \quad (3.8)$$

– для поездов категории 2:

$$L_{2,Amax25} = 15lgv_2 + 10lg\left\{arctg\left(\frac{l_2}{50}\right)\right\} + 59,9 \quad (3.9)$$

– для поездов категории 3:

$$L_{3,Amax25} = 27,1lgv_3 + 10lg\left\{arctg\left(\frac{l_3}{50}\right)\right\} + 36,2 \quad (3.10)$$

– для поездов категории 4:

$$L_{4,Amax25} = 45,1lgv_4 + 10lg\left\{arctg\left(\frac{l_4}{50}\right)\right\} - 19,2 \quad (3.11)$$

где v_i – скорость движения поезда i -й категории, км/ч; $i=1, 2, 3, 4$

$l_{1,2,3,4}$ – длина поезда категорий 1, 2, 3, 4, м.

За максимальный уровень звука потока поездов, следующих по рассматриваемому участку пути за время оценки (день, $k = d$; ночь, $k = n$), принимают наибольший из средних максимальных уровней звука потоков поездов разных категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути за время оценки:

$$L_{Amax25,k} = \max\{\bar{L}_{i,Amax25,k}\}, \quad k = d, n \quad (3.12)$$

где $\bar{L}_{i,Amax25,k}$ – средний максимальный уровень звука потока поездов категории, прошедших по рассматриваемому участку за k -е время оценки, дБА, рассчитываемый по формуле

$$\bar{L}_{i,Amax25,k} = 10lg\left(\frac{1}{n_{i,k}} \sum_{j=1}^{n_{i,k}} 10^{\frac{L_{i,Amax25j,k}}{10}}\right) \quad k = d, n \quad (3.13)$$

где $L_{i,Amax25j,k}$ – максимальный уровень звука А, рассчитанный по формулам (3.8) – (3.11), при проходе j -го поезда категории в k -м интервале оценки (день, $k = d$; ночь, $k = n$), дБА;
 $n_{i,k}$ – число проходов поездов категории в k -м интервале оценки.

3.2. Пример расчета шумовых характеристик потоков поездов

Исходные данные для расчета:

Расчет шумовых характеристик производится для участка железной дороги протяженностью 10 км. На участке планируется движение поездов пассажирских (категория 1) с расчетной скоростью 160 км/ч и грузовых (категория 2) с расчетной скоростью 90 км/ч.

Тип пути – с бетонными шпалами.

Радиус криволинейного участка пути – 300 м.

Интенсивность движения поездов различных категорий приведена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Интенсивность движения по рассматриваемому участку

Категория	Тип подвижного состава, поезда	Количество пар в сутки	Количество поездов за время оценки		Количество поездов в час (час наибольшей интенсивности движения)	
			День (16 часов)	Ночь (8 часов)	день	ночь
1	Пассажирский поезд	8	16	0	1	0
2	Грузовой поезд	6	8	4	1	1

Расчет эквивалентного уровня звука

Эквивалентный уровень звука, $L_{i,Aeq25}$, создаваемого отдельными поездами, обращающихся по участку (категория 1 и 2) на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, вычисляются для поездов категорий 1 и 2 по формулам (3.1) и (3.2) соответственно:

– для пассажирских поездов (категория 1):

$$L_{1,Aeq25} = 25,31lgv_1 + 10lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_1}{25} \right) \right\} + 33,3 = 25,31lg160 + 10lg \left\{ \arctg \left(\frac{500}{25} \right) \right\} + 33,3 = 25,31lg160 + 10lg1,52 + 33,3 = 55,79 + 1,82 + 33,3 = 90,91 \text{ дБА}$$

– для грузовых поездов (категория 2):

$$\begin{aligned} L_{2,Aeq25} &= 20,41lgv_2 + 10lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_2}{25} \right) \right\} + 46 \\ &= 20,41lg90 + 10lg \left\{ \arctg \left(\frac{1200}{25} \right) \right\} + 46 \\ &= 20,41lg90 + 10lg1,55 + 46 = 39,89 + 1,9 + 46 = 87,79 \text{ дБА} \end{aligned}$$

где $v_{1,2}$ – скорость движения поезда категорий 1, 2 км/ч;

$l_{1,2}$ – длина поезда категорий 1, 2, м.

Поскольку отсутствуют конкретные данные о длине намеченных к обращению по участку поездов, принимаются следующие расчетные длины поездов:

- длина пассажирского поезда $l_1 = 500$ м;
- длина грузового поезда $l_2 = 1200$ м.

Для учета характера пути к рассчитанным значениям $L_{i,Aeq25}$ прибавляют следующие коррекции:

Коррекция на тип пути $\Delta L_{\text{путь}} = 0$ дБА – путь с бетонными шпалами (см. таблицу 3.3).

Коррекция на радиус криволинейных участков пути $\Delta L_{\text{кр}} = 3$ дБА – радиус криволинейного участка пути 300 м (см. таблицу 3.4).

Коррекция на тип моста $\Delta L_{\text{мост}} = 0$ дБА, поскольку мост на участке отсутствует.

С учетом коррекции $L_{i,Aeq25}$ составляет:

- для пассажирских поездов (категория 1):

$$L_{1,Aeq25} = 90,91 + 3 = 93,91 \text{ дБА}$$

- для грузовых поездов (категория 2):

$$L_{2,Aeq25} = 87,79 + 3 = 90,79 \text{ дБА}$$

Часовой эквивалентный уровень звука

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{i,Aeq,1h,l}$ потока поездов обращающихся по участку (категория 1 и 2), прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа, вычисляют по формуле (3.5).

Число поездов i -й категории (в примере категория 1 и 2), проходящих по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа определяется из общей интенсивности движения поездов и приведено для каждой категории поезда в таблице 3.6 исходных данных.

Время следования j -го поезда i -й категории по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа t_{jil} определяется с учетом скорости движения и длины участка и составляет:

- для поездов категории 1:

$$t_{jil} = L_{\text{участка}} / v_i = 10 / 160 = 0,06 \text{ час} = 216 \text{ с}$$

- для поездов категории 2:

$$t_{jil} = L_{\text{участка}} / v_i = 10 / 90 = 0,11 \text{ час} = 396 \text{ с}$$

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{i,Aeq,1h,l}$ составляет:

- для поездов категории 1, день (см. таблицу 3.6):

$$L_{i,Aeq25,1h,l} = 10 \lg \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^{n_{il}} t_{jil} 10^{0,1L_{i,Aeq25,jl}} = 10 \lg \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^1 216 * 10^{0,1*93,91} = 10 \lg 147622056,25 = 81,69 \text{ дБА}$$

- для поездов категории 1, ночь – поездов нет (см. таблица 3.6):
- для поездов категории 2, день – 1 поезд в час наибольшей интенсивности движения (см. таблица 3.6):

$$L_{i,Aeq25,1h,l} = 10lg \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^{n_{il}} t_{jil} 10^{0,1L_{i,Aeq25,jl}} = 10lg \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^1 396 * 10^{0,1*90,79} = 81,20 \text{ дБА}$$

- для поездов категории 2, ночь – 1 поезд в час наибольшей интенсивности движения (см. таблица 3.6):

$$L_{i,Aeq25,1h,l} = 10lg \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^{n_{il}} t_{jil} 10^{0,1L_{i,Aeq25,jl}} = 10lg \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^1 396 * 10^{0,1*90,79} = 81,20 \text{ дБА}$$

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,1h,l}$, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути потоками поездов железнодорожного транспорта всех категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа, вычисляют по формуле (3.6) для различных периодов шумовой экспозиции (день и ночь):

- для интенсивности движения днем

$$L_{Aeq25,1h,l} = 10lg \sum_{j=1}^n 10^{0,1L_{i,Aeq25,1h,l}} = 10lg \sum_{j=1}^n (10^{0,1*81,69} + 10^{0,1*81,20}) = 10lg 279396327,18 = 84,46 \text{ дБА}$$

- для интенсивности движения ночью

$$L_{Aeq25,1h,l} = 10lg \sum_{j=1}^n 10^{0,1L_{i,Aeq25,1h,l}} = 10lg \sum_{j=1}^1 (10^{0,1*81,20}) = 81,20 \text{ дБА}$$

Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,k}$ за время оценки вычисляют по формуле (3.7).

где T_k – время оценки, ч, принимаемое в соответствии с санитарными нормами

$$t_l = 1 \text{ ч.}$$

При определении дневного периода времени с 07:00 до 23:00 T_k составляет 16 ч, при определении ночного периода времени с 23:00 до 07: T_k составляет 8 ч. Интенсивность движения поездов в дневное и ночное время приведена в таблице 3.6.

Эквивалентный уровень звука за время оценки составляет:

- день, $k = d$;

$$L_{Aeq25,k} = 10lg \frac{1}{T_k} \sum_{j=1}^{n_k} t_l 10^{0,1L_{i,Aeq25,1h,l}} = 10lg \frac{1}{16} (1 * 16 * 10^{0,1*84,46} + 1 * 8 * 10^{0,1*81,20}) = 85,38 \text{ дБА}$$

- ночь, $k = n$

$$L_{Aeq25,k} = 10lg \frac{1}{T_k} \sum_{j=1}^{n_k} t_l 10^{0,1L_{i,Aeq25,1h,l}} = 10lg \frac{1}{8} (1 * 4 * 10^{0,1*81,2}) = 78,19 \text{ дБА}$$

Расчет максимального уровня звука

Максимальный уровень звука $L_{i,Aeq25}$, дБА, создаваемый поездами различных категорий (категории 1 и 2, согласно, исходных данных) на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, рассчитывают по формулам (3.8) и (3.9) соответственно, и составляет:

– для поездов категории 1:

$$\begin{aligned} L_{1,Amax25} &= 24lgv_1 + 10lg \left\{ arctg \left(\frac{l_1}{50} \right) \right\} + 41,2 \\ &= 24lg160 + 10lg \left\{ arctg \left(\frac{500}{50} \right) \right\} + 41,2 = 52,90 + 1, +41,2 \\ &= 95,77 \text{ дБА} \end{aligned}$$

– для поездов категории 2:

$$\begin{aligned} L_{2,Amax25} &= 15lgv_2 + 10lg \left\{ arctg \left(\frac{l_2}{50} \right) \right\} + 59,9 \\ &= 15lg90 + 10lg \left\{ arctg \left(\frac{1200}{50} \right) \right\} + 59,9 \\ &= 29,31 + 1,85 + 59,9 = 91,06 \text{ дБА} \end{aligned}$$

Средний максимальный уровень звука потока поездов категории, прошедших по рассматриваемому участку за k -е время оценки (день и ночь), рассчитываемый по формуле (3.13).

– для поездов категории 1 день, $k = d$ (день):

$$\begin{aligned} \bar{L}_{i,Amax25,k} &= 10lg \left(\frac{1}{T_k} \sum_{j=1}^{n_{i,k}} 10^{\frac{L_{i,Amax25j,k}}{10}} \right) = 10lg \left(\frac{1}{16} \sum_1^{16} 10^{\frac{95,77}{10}} \right) = \\ &= 10lg \left(\frac{1}{16} * 16 * 10^{9,577} \right) = 95,77 \text{ дБА} \end{aligned}$$

– для поездов категории 1 ночь, $k = n$ движение по участку отсутствует;

– для поездов категории 2 день, $k = d$:

$$\begin{aligned} \bar{L}_{i,Amax25,k} &= 10lg \left(\frac{1}{T_k} \sum_{j=1}^{n_{i,k}} 10^{\frac{L_{i,Amax25j,k}}{10}} \right) = 10lg \left(\frac{1}{16} \sum_1^{16} 10^{\frac{91,06}{10}} \right) = \\ &= 10lg \left(\frac{1}{16} * 16 * 10^{9,106} \right) = 91,06 \text{ дБА} \end{aligned}$$

– для поездов категории 2 ночь, $k = n$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{i,Amax25,k} &= 10lg \left(\frac{1}{T_k} \sum_{j=1}^{n_{i,k}} 10^{\frac{L_{i,Amax25j,k}}{10}} \right) = 10lg \left(\frac{1}{8} \sum_1^4 10^{\frac{91,06}{10}} \right) = \\ &= 10lg \left(\frac{1}{8} * 4 * 10^{9,106} \right) = 88,05 \text{ дБА} \end{aligned}$$

За максимальный уровень звука потока поездов, следующих по рассматриваемому участку пути за время оценки (день, $k = d$; ночь, $k = n$), принимают наибольший из средних максимальных уровней звука потоков поездов разных категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути за время оценки. Он составляет:

– день, $k = d$;

$$L_{Amax25,k} = \max\{\bar{L}_{i,Amax25,k}\} = \max\{95,77; 91,06\} = 95,77 \text{ дБА}$$

– ночь, $k = n$

$$L_{Amax25,k} = \max\{\bar{L}_{i,Amax25,k}\} = \max\{0; 88,05\} = 88,05 \text{ дБА}$$

Итоговые значения шумовых характеристик потоков поездов, проходящих по рассматриваемому участку, приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Шумовые характеристики потоков поездов

Шумовая характеристика	Период шумовой экспозиции	Уровень звука
Эквивалентный уровень звука за время оценки $L_{Aeq25,k}$	День	85,38 дБА
	Ночь	78,19 дБА
Максимальный уровень звука за время оценки $L_{Amax25,k}$	День	95,77 дБА
	Ночь	88,05 дБА

3.3. Выбор расчетных точек

Расчетные точки выбирают по ГОСТ 23337-2014 «ШУМ. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий» [7] и ГОСТ 31296.2-2006 «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2 Определение уровней звукового давления» [8] для учета вклада звука, отраженного от фасада здания, перед которым расположена расчетная точка.

На площадках отдыха микрорайонов и групп жилых домов, на площадках детских дошкольных учреждений, на участках школ и больниц расчетные точки следует выбирать на ближайшей к оцениваемому участку железнодорожного пути границе площадки на высоте 1,5 м от поверхности земли. Если площадка частично находится в зоне звуковой тени от здания, сооружения или какого-либо другого экранирующего объекта и частично в зоне действия прямого звука, то расчетная точка должна находиться вне зоны звуковой тени.

На территории, непосредственно прилегающей к жилым домам и другим зданиям, в которых нормируются уровни проникающего шума, расчетные точки следует выбирать на расстоянии 2 м от фасада здания, обращенного в сторону оцениваемого участка железнодорожного пути, на высоте 1,5 м от поверхности земли.

Для проведения оценки эффективности шумозащитных мероприятий расчетные точки следует выбирать на расстоянии 2 м от ограждающих конструкций зданий, ориентированных на источник шума, на уровне середины окон первого и последнего этажей. Для многоэтажной застройки расчет проводят на уровне 12 м от поверхности земли и уровне середины окон промежуточных этажей зданий. Высота середины окна первого этажа здания считается равной $(3,0 \pm 0,5)$ м над уровнем поверхности земли.

В необходимых случаях расчетные точки могут быть выбраны на уровне других этажей.

3.4. Снижение шума на пути распространения

Расчет шума проводят исходя из шумовых характеристик потоков поездов с учетом снижения шума на пути распространения, в том числе за счет геометрической дивергенции, поглощения звука атмосферой, поверхностью грунта, ограничения угла видимости, затухания звука в жилой застройке, влияния экранирующих сооружений и зеленых насаждений, отражения звука от зданий.

Эквивалентный уровень звука и звукового давления в расчетной точке, рассчитывают по формуле

$$L_{eq} = L_{eq25} - A_{див} - A_{атм} - A_{грунт} - A_{экр} - A_{\alpha} - A_{жз} - A_{зн} + A_{отр} \quad (3.14)$$

- где L_{eq} — шумовая характеристика потока поездов, для оценочных интервалов времени, дБА (дБ);
- $A_{див}$ — снижение из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство), дБА (дБ);
- $A_{атм}$ — снижение из-за поглощения звука атмосферой, дБА;
- $A_{грунт}$ — снижение вследствие поглощения звука поверхностью грунта, дБА.
- $A_{экр}$ — снижение из-за экранирования, дБА;
- A_{α} — снижение из-за ограничения угла видимости, дБА;
- $A_{жз}$ — снижение в жилой застройке, дБА;
- $A_{зн}$ — снижение в зеленых насаждениях, дБА;
- $A_{отр}$ — коррекция на отражение звука от зданий, вблизи которых расположена расчетная точка, дБА.

Максимальный уровень звука в расчетной точке, рассчитывают по формуле

$$L_{Amax} = L_{Amax25} - A_{див} - A_{атм} - A_{экр} - A_{зн} \quad (3.15)$$

- где L_{Amax25} — шумовая характеристика потока поездов, для оценочных интервалов времени, дБА (дБ);

Геометрическая дивергенция $A_{див}$

Снижение уровней шума в зависимости от расстояния вычисляют по формулам:

- для эквивалентных уровней звука и звукового давления:

$$A_{див} = 10 \lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{25} \right) \right] - 10 \lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{R} \right) - \frac{12,5}{l_i} \ln \left(1 + \left(\frac{l_i}{R} \right)^2 \right) \right] - 10 \lg \left(\frac{25}{R} \right) \quad (3.16)$$

- для максимальных уровней звука:

$$A_{\text{див}} = 10 \lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{50} \right) \right] - 10 \lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{2R} \right) \right] - 10 \lg \left(\frac{25}{R} \right) \quad (3.17)$$

где R – расстояние от оси ближнего железнодорожного пути до расчетной точки, м, учитывающее высоты источника шума и расчетной точки и определяемое по формуле

$$R = \sqrt{S_{\text{и.ш.р.т.}}^2 + (h_{\text{р.т.}} - 0,5)^2} \quad (3.18)$$

где $S_{\text{и.ш.р.т.}}$ – длина проекции на горизонтальную плоскость расстояния между акустическим центром источника шума и расчетной точкой, м;

$h_{\text{р.т.}}$ – высота расчетной точки над уровнем территории, м.

Затухание из-за звукопоглощения атмосферой $A_{\text{атм}}$

Затухание из-за звукопоглощения атмосферой $A_{\text{атм}}$, дБ, на расстоянии d , м, от источника шума определяют по формуле

$$A_{\text{атм}} = \alpha d / 1000 \quad (3.19)$$

где α – коэффициент затухания звука в октавной полосе частот в атмосфере (таблица 3.8).

Таблица 3.8 - Коэффициент затухания звука в атмосфере α в октавных полосах частот

Температура, °С	Относительная влажность, %	Коэффициент затухания звука в атмосфере α , дБ/км, в октавных полосах со среднегеометрической частотой, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Затухание из-за влияния земли $A_{\text{грунт}}$

Основная причина затухания из-за влияния земли $A_{\text{грунт}}$ – интерференция звуковых волн, отраженных поверхностью земли, с волнами прямого звука от источника шума к приемнику.

При распространении звука по ветру это затухание в основном определяется влиянием земли вблизи источника шума и приемника. Метод расчета затухания из-за влияния земли применим только в случае практически плоской поверхности земли вне зависимости от того, горизонтальная она или наклонная. При этом различают (рисунок 3.1) три основные зоны (области):

- зону источника длиной до $30h_s$ и максимальным значением, равным d_p (h_s < высота точечного источника шума над землей; d_p – проекция расстояния от точечного источника шума до приемника на плоскость земли);

- зону приемника длиной до $30h_r$ и максимальным значением, равным d_p (h_r – высота приемника над землей);
- среднюю зону. Если $d_p < (30h_s + 30h_r)$, то зоны источника и приемника частично перекрываются и средняя зона отсутствует.

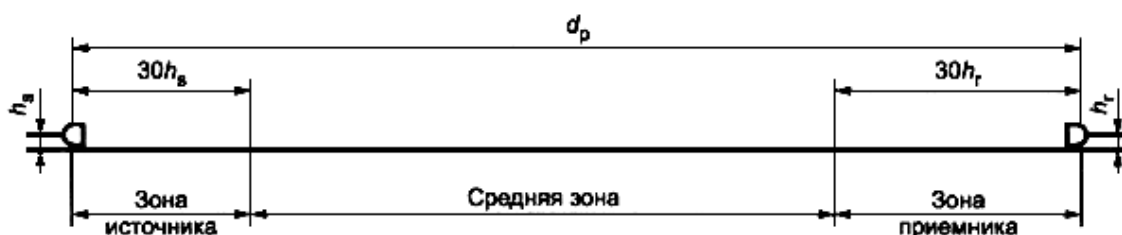


Рисунок 3.1 - Три основные зоны при определении затухания из-за влияния земли

Согласно данной схеме затухание из-за влияния земли не зависит от длины средней зоны, но в большой степени зависит от характеристик поверхности земли в зонах источника и приемника.

Акустические характеристики поверхности земли в зонах учитывают коэффициентом отражения от поверхности земли G .

Различают три категории поверхностей земли по звукоотражению:

- твердую поверхность (мощеная, залитая водой, покрытая льдом, бетонированная и прочие поверхности с низкой пористостью). Например, утрамбованный грунт, часто встречающийся вокруг промышленных площадок, можно считать твердой поверхностью. Для твердой поверхности $G = 0$.
- пористую поверхность (голая или покрытая травой земля, деревья и другая растительность, а также прочие поверхности, пригодные для выращивания растений, например земли сельскохозяйственного назначения). Для пористой поверхности $G = 1$;
- смешанную поверхность. Если поверхность имеет твердые и пористые участки, то G принимает значения от 0 до 1 пропорционально площади поверхности пористых участков.

Для определения затухания из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот рассчитывают:

- затухание A_s в зоне источника при заданном показателе поверхности земли G_s ;
- затухание A_m в зоне приемника с показателем поверхности G_m ;
- затухание A_r в средней зоне с показателем поверхности G_r .

Общее затухание из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот определяют по формуле:

$$A_{\text{грунт}} = A_s + A_r + A_m \quad (3.20)$$

Значения A_s , A_r и A_m рассчитывают в зависимости от значений среднегео-

метрической частоты октавной полосы и акустических характеристик поверхности земли.

При выполнении курсовой работы принимается значение среднегеометрической частоты октавной полосы – 63 Гц, тогда:

- затухание в зоне источника $A_s = 1,5$ дБА;
- затухание в средней зоне $A_r = 1,5$ дБА;
- затухание в зоне приемника $A_m = 3q$, дБА.

Значение параметра q принимается в зависимости от соотношения проекции расстояния от точечного источника шума до приемника на плоскость земли d_p к величине зон приемника и источника (см. рисунок 3.1):

$$\begin{aligned} & - q = 0, \text{ если } d_p \leq (30 h_s + 30 h_r), \\ & - q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}, \text{ если } d_p > (30 h_s + 30 h_r), \end{aligned} \quad (3.21)$$

где d_p – проекция расстояния от точечного источника шума до приемника на плоскость земли, м;
 h_s – высота точечного источника шума над землей, м;
 h_r – высота приемника над землей, м.

Акустические экраны и экранирующие сооружения (здания, насыпи, выемки) $A_{\text{экp}}$

Объект считают экраном или экранирующим препятствием при выполнении следующих условий:

- поверхностная плотность не менее 10 кг/м;
- поверхность сплошная, без разрывов или просветов (например, технологические установки на химических предприятиях не считают экраном)];
- длина проекции экрана в направлении, перпендикулярном к линии, соединяющей источник и приемник, более длины звуковой волны λ с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы

При выполнении курсовой работы принимаем, что на пути от источника шума до расчетной точки насыпи и выемки отсутствуют.

На стадии оценки уровня шума, принимаем, что шумозащитный экран отсутствует. В случае превышения уровня шума в расчетной точке, сооружение шумозащитного экрана может быть рассмотрено в качестве шумозащитного сооружения.

Ограничение угла видимости A_α

Поправка, учитывающая ограничение угла видимости магистрали из расчетной точки, рассчитывается по формуле:

$$A_\alpha = 10 \lg(\alpha/180) \quad (3.22)$$

где α – угол непосредственной видимости улицы (дороги) из расчетной точки (см. рисунок 3.2).

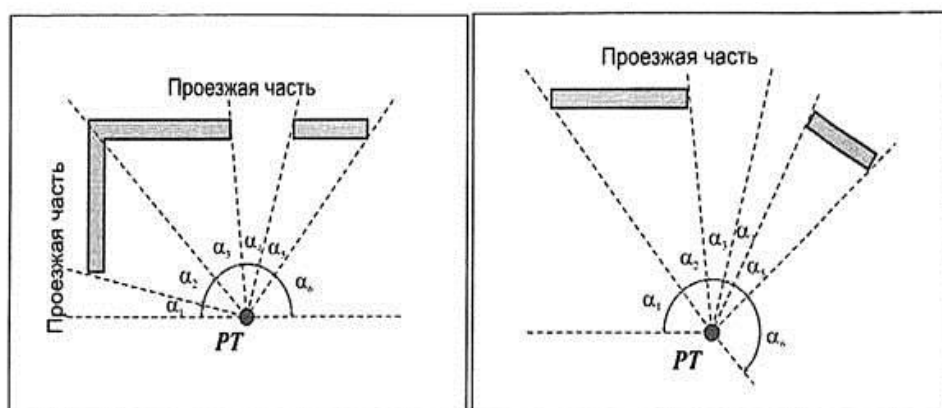


Рисунок 3.2 - Схема для определения угла непосредственной видимости дороги из расчетной точки

Затухание в жилых массивах $A_{жз}$

Если источник шума или приемник, или оба они расположены в жилом массиве, то возникает затухание из-за экранирования домами. Однако данный эффект может быть снижен за счет прохождения звука между домами и отражений его от других домов. Комбинационный эффект экранирования и отражения звука $A_{жз}$ может быть рассчитан для каждой ситуации, по крайней мере в принципе, по правилам расчета затухания из-за экранирования $A_{экр}$ и затухания из-за звукоотражения.

Поскольку значение величины $A_{жз}$ сильно зависит от ситуации, правильность расчета следует проверять практическими измерениями. Потому более полезно, особенно в случае многократных (многих) отражений, снижающих точность расчетов, выполнить измерения на месте или на моделях застройки.

Приблизительное затухание уровня звука $A_{жз}$, которое не должно превышать 10 дБА, может быть оценено по формуле

$$A_{жз} = A_{\text{hous},1} + A_{\text{hous},2} \quad (3.23)$$

Среднее значение величины $A_{\text{hous},1}$, дБА, может быть рассчитано по формуле

$$A_{\text{hous},1} = 0,1Bd_b \quad (3.24)$$

где B – плотность застройки вдоль траектории распространения звука, равная отношению площади участков под домами к общей площади жилого массива, включая площадь участков под домами;

d_b – длина траектории звука через просветы между домами, определенная аналогично рисунку 4, м.

Если вдоль железной дороги имеется плотная рядная застройка, то может быть учтено дополнительное затухание $A_{\text{hous},2}$ (при условии, что оно менее вносимых потерь домами как экранами в той же точке, если высоту экрана принять равной средней высоте домов), рассчитываемое по формуле:

$$A_{\text{hous},2} = 10 \lg \left(1 - \frac{p}{100} \right) \quad (3.25)$$

где p – отношение длины фасадов домов к длине железной дороги вдоль них ($p \leq 90\%$)

Затухание в листве $A_{\text{зн}}$

Листва деревьев и кустарников влияет на затухание мало и только в случае, когда она плотная (не имеет просветов). Зеленые насаждения дают затухание 4 дБА на 100 м. Это значение следует принимать в расчет при учете полос нешумозащитных зеленых насаждений.

Отражение звука $A_{\text{отр}}$

Для здания, в 2 м от поверхности которого расположена расчетная точка в соответствии с ГОСТ 31296.2 «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2 Определение уровней звукового давления» [8], принимают $A_{\text{отр}} = 3$ дБА.

3.5. Пример определения величины снижения шума на пути распространения

Снижение уровня шума определяется для участка железной дороги шумовые характеристики которого определены в п. 3.2 настоящего пособия. Вблизи участка железной дороги находится населенный пункт.

Расстояние между акустическим центром источника шума и расчетной точкой – 200 м.

Высота расчетной точки над уровнем территории – 7 м.

Поверхность земли между населенным пунктом и трассой дороги – покрытая травой земля, деревья и другая растительность.

Расчет шума проводят исходя из шумовых характеристик потоков поездов с учетом снижения шума на пути распространения, в том числе за счет геометрической дивергенции, поглощения звука атмосферой, поверхностью грунта, ограничения угла видимости, затухания звука в жилой застройке, влияния экранирующих сооружений и зеленых насаждений, отражения звука от зданий.

Эквивалентный уровень звука и звукового давления в расчетной точке рассчитывают по формуле (3.14), а максимальный уровень звука в расчетной точке рассчитывают по формуле (3.15).

Для расчета уровня шума в расчетной точке (2 м перед фасадом здания) следует определить величины факторов, приводящие к снижению уровня звука на пути распространения.

Геометрическая дивергенция $A_{\text{див}}$

Снижение уровней шума в зависимости от расстояния вычисляют по для эквивалентных уровней звука и звукового давления формуле (3.16), а для максимальных уровней звука по (3.17).

Расстояние от оси ближнего железнодорожного пути до расчетной точки R , учитывающее высоты источника шума и расчетной точки (7 м – см. исходные данные), а также длину проекции на горизонтальную плоскость расстояния между акустическим центром источника шума и расчетной точкой $S_{\text{и.ш.р.т.}} = 200$ м (см. исходные данные) определяется по формуле (3.18). В качестве модели источника звука, создающего максимальные уровни шума поезда, принята модель точечного источника, расположенного в месте возникновения шума качения (акустический центр источника шума принят на высоте 0,5 м над уровнем земляного полотна).

$$R = \sqrt{S_{\text{и.ш.р.т.}}^2 + (h_{\text{р.т.}} - 0,5)^2} = \sqrt{200^2 + (7 - 0,5)^2} = 200,1 \text{ м}$$

Тогда,

- для эквивалентных уровней звука и звукового давления (рассматривает поезд категории 2 длиной $l_2=1200$ м, как поезд, создающий максимальный уровень шума при проходе по участку):

$$\begin{aligned} A_{\text{див}} &= 10\lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{25} \right) \right] - 10\lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{R} \right) - \frac{R}{2l} \ln \left(1 + \left(\frac{l_i}{R} \right)^2 \right) \right] - \\ 10\lg \left(\frac{25}{R} \right) &= 10\lg \left[\arctg \left(\frac{1200}{25} \right) \right] - 10\lg \left[\arctg \left(\frac{1200}{200,1} \right) - \frac{200,1}{2400} \ln \left(1 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left(\frac{1200}{200,1} \right)^2 \right) \right] - 10\lg \left(\frac{25}{200,1} \right) = 10\lg[\arctg(48)] - 10\lg[\arctg(6) - \\ &\quad 0,08\ln(36,96)] - 10\lg(0,12) = 10\lg[1,55] - 10\lg[1,41 - 0,29] - \\ &\quad 10\lg(0,12) = 1,90 - 0,49 + 9,21 = 10,62 \text{ дБА} \end{aligned}$$

- для максимальных уровней звука:

$$\begin{aligned} A_{\text{див}} &= 10\lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{50} \right) \right] - 10\lg \left[\arctg \left(\frac{l_i}{2R} \right) \right] - 10\lg \left(\frac{25}{R} \right) = \\ 10\lg \left[\arctg \left(\frac{1200}{50} \right) \right] &- 10\lg \left[\arctg \left(\frac{1200}{400,2} \right) \right] - 10\lg \left(\frac{25}{200,1} \right) = 1,85 - 1,85 + \\ &9,0 = 9,0 \text{ дБА} \end{aligned}$$

Значения $A_{\text{атм}}$, $A_{\text{грунт}}$, $A_{\text{жз}}$ и $A_{\text{зн}}$ рассчитывают по ГОСТ 31295.2. «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2 Общий метод расчета» [9]

Затухание из-за звукопоглощения атмосферой $A_{\text{атм}}$

Затухание из-за звукопоглощения атмосферой $A_{\text{атм}}$, дБ, на расстоянии d , м, от источника шума ($d = 200$ м, см. исходные данные) определяют по формуле (3.19).

$$A_{\text{атм}} = \frac{\alpha d}{1000} = \frac{0,1 \times 200}{1000} = 0,02 \text{ дБА}$$

Коэффициент затухания звука в атмосфере α в октавных полосах частот при выполнении курсовой работы принимается $\alpha = 0,1$ (для случая среднегеометрической частоты октавной полосы 63 Гц, см. таблице 3.8).

Затухание из-за влияния земли $A_{\text{грунт}}$

Расстояние между акустическим центром источника шума и расчетной точкой – 200 м (см. исходные данные), т.е. $d_p = 200$ м.

Акустический центр источника шума принят на высоте 0,5 м над уровнем земляного полотна, т.е. $h_s = 0,5$ м.

Высота расчетной точки над уровнем территории – 7 м (см. исходные данные), т.е. $h_r = 7$ м.

Согласно схеме (см. рисунок 3.1):

- зона источника – $30 h_s = 30 \times 0,5 = 15$ м
- зона приемника – $30 h_r = 30 \times 7 = 210$ м

При выполнении курсовой работы принимается:

- затухание в зоне источника $A_s = 1,5$ дБА;
- затухание в средней зоне $A_r = 1,5$ дБА;
- затухание в зоне приемника $A_m = 3q$, дБА.

Значение параметра q принимается в зависимости от соотношения проекции расстояния от точечного источника шума до приемника на плоскость земли d_p к величине зон приемника и источника (см. рисунок 4):

- $q = 0$, если $d_p \leq (30 h_s + 30 h_r)$,
- $q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}$, если $d_p > (30 h_s + 30 h_r)$,

$30 h_s + 30 h_r = 15 + 210 = 225$ м $> d_p = 200$ м, тогда $q = 0$

Тогда $A_m = 3q = 3 \times 0 = 0$ дБА.

Общее затухание из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот определяют по формуле (3.20)

$$A_{\text{грунт}} = A_s + A_r + A_m = 1,5 + 1,5 + 0 = 3,00 \text{ дБА.}$$

Акустические экраны и экранирующие сооружения (здания, насыпи, выемки) $A_{\text{экр}}$

На начальном этапе расчета, для принятия решения о необходимости проведения шумозащитных мероприятий принимается $A_{\text{экр}} = 0$ дБА.

Ограничение угла видимости A_α

Поправка, учитывающая ограничение угла видимости магистрали из расчетной точки, рассчитывается по формуле (3.22). При выполнении курсовой работы расчет уровня шума производится для расчетной точки расположенной на расстоянии 2 м от фасада ближайшего к железной дороге здания, т.е. $\alpha = 180^\circ$.

$$A_\alpha = 10 \lg(\alpha/180) = 10 \lg(180/180) = 0 \text{ дБА.}$$

Затухание в жилых массивах $A_{жз}$

Поскольку расчетная точка находится на границе населенного пункта, принимаем, что $A_{жз} = 0$ дБА.

Затухание в листве $A_{зн}$

При выполнении курсовой работы принимается, что между источником шума и расчетной точкой расположена полоса зеленых насаждений шириной 100 м. Зеленые насаждения дают затухание 4 дБА на 100 м, т.е. $A_{зн} = 4$ дБА.

Отражение звука $A_{отр}$

Для здания, в 2 м от поверхности которого расположена расчетная точка, принимают $A_{отр} = 3$ дБА.

На пути распространения шума от источника до расчетной точки происходит его снижения в результате влияния следующих факторов:

$A_{див}$	=	10,62 дБА (для эквивалентных уровней звука) и $A_{див} = 9$ дБА (для максимальных уровней звука);
$A_{атм}$	=	0,02 дБА
$A_{грунт}$	=	3,00 дБА
$A_{экр}$	=	0 дБА
A_{α}	=	0 дБА
$A_{жз}$	=	0 дБА
$A_{зн}$	=	4,00 дБА
$A_{отр}$	=	3,00 дБА.

Эквивалентный уровень звука и звукового давления в расчетной точке с учетом шумовых характеристик потоков поездов (см. таблицу 3.7) и факторов, приводящих к снижению уровня шума на пути его распространения, рассчитанный по формуле (3.14), составляет для периода:

– день

$$L_{eq} = 85,38 - 10,62 - 0,02 - 3,00 - 0 - 0 - 0 - 4,00 + 3,00 = 70,74 \text{ дБА}$$

– ночь

$$L_{eq} = 78,19 - 10,62 - 0,02 - 3,00 - 0 - 0 - 0 - 4,00 + 3,00 = 63,55 \text{ дБА}$$

Максимальный уровень звука в расчетной точке с учетом шумовых характеристик потоков поездов (см. таблицу 3.7) и факторов, приводящих к снижению уровня шума на пути его распространения, рассчитанный по формуле (3.15), составляет для периода :

– день

$$L_{Amax} = 95,77 - 9,0 - 0,02 - 0 - 4,00 = 82,75 \text{ дБА}$$

– ночь

$$L_{A\max} = 88,05 - 9,0 - 0,02 - 0 - 4,00 = 75,03 \text{ дБА}$$

Нормы допустимого шума на территории жилой застройки приведены в таблице 3.2. (раздел 22 «Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха, домам-интернатам для престарелых и инвалидов, пансионатам»).

Результаты оценки уровня шума на границе населенного пункта приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9. Оценка величины уровня шума в расчетной точке

Уровень звука, дБА	Уровень шума на территории, дБА		
	L_A	$L_{A \text{ доп}}$	Превышение, дБА
Эквивалентный			
день	70,74	55	15,74
ночь	63,55	45	18,55
Максимальный			
день	82,75	70	12,75
ночь	75,03	60	15,03

Расчеты показали превышение уровня шума в дневное и ночное время по эквивалентному и максимальному уровню звука. Существует необходимость в проектировании шумозащитных мероприятий.

4. Проектирование шумозащитного экрана

Необходимая шумозащитная эффективность экранов обеспечивается варьированием их высоты, длины, расстояния между источником шума и экраном.

При проектировании экрана вначале на ситуационном плане участка жилой, общественно-деловой или рекреационной зоны отмечают жилые и общественные здания, площадки отдыха около них, которые должны быть защищены от шума, и выявляют транспортные магистрали или улицы с регулярным движением транспорта, наиболее близко расположенные к этим зданиям и площадкам. Затем намечают расчетные точки.

Расчетные точки назначаются в наиболее характерных местах рассматриваемых участков, а также в необходимых случаях и в помещениях жилых и общественных зданий. При выборе расчетных точек следует руководствоваться указаниями ГОСТ 23337 ШУМ Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий [17].

4.1. Длина шумозащитного экрана

Для защиты группы зданий, а также площадок отдыха от шума магистрали необходимо правильно определить длину экрана

Длину акустического экрана $l_{\text{экр}}$ определяют из условия обеспечения расстояния от проекции крайней точки объекта защиты на акустическом экране до соответствующего конца акустического экрана, не менее чем в 4,5 раза больше кратчайшего расстояния от объекта защиты до акустического экрана, как показано на рисунке 4.1.

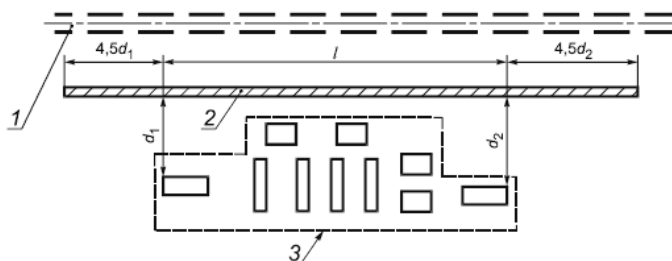


Рисунок 4.1 - Схема определения требуемой длины акустического экрана

1 – железнодорожный путь; 2 – акустический экран; 3 – объект защиты; d_1, d_2 – расстояния от крайних объектов защиты до акустического экрана, м; $l_{\text{экр}}$ – общая длина акустического экрана

Общая длина протяженного акустического экрана определяется по формуле (4.1):

$$l_{\text{экр}} = 4,5d_1 + l + 4,5d_2 \quad (4.1)$$

где $d_{1,2}$ – расстояния от крайних объектов защиты до акустического экрана, м;

l – длина объекта защиты

Расстояние от крайнего защищаемого объекта до соответствующего конца акустического экрана выбрано из условия возможности пренебрежения дифракцией на конце акустического экрана.

При невозможности обеспечения требуемой длины акустического экрана (рисунок 4.2) проектируют акустический экран максимальной возможной длины, а затем проектируют дополнительные боковые акустические экраны. Боковые акустические экраны следует устанавливать вплотную к основному акустическому экрану в сторону застройки для ее защиты от шума потоков железнодорожного транспорта (рисунок 4.2). Длину каждого бокового акустического экрана определяют согласно указаниям на рисунке 4.2.

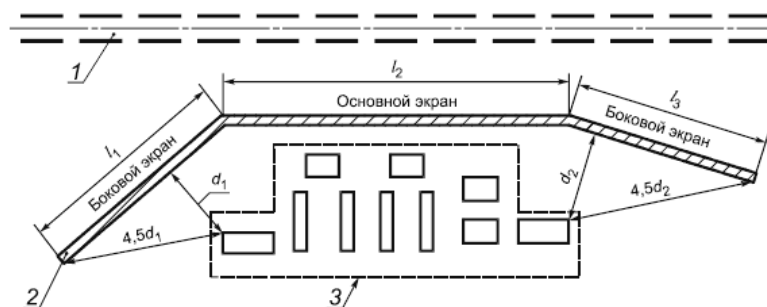


Рисунок 4.2 - Схема определения длины боковых акустических экранов
1 – железнодорожный путь; 2 – акустический экран; 3 – объект защиты; d_1, d_2 – расстояния от крайних объектов защиты до акустического экрана, м

4.2. Высота шумозащитного экрана

Акустическая эффективность протяженного экрана зависит от разности длин путей звукового луча δ , м, определяемой в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.3.

Высоту акустического экрана следует выбирать в зависимости от требуемой акустической эффективности экранов, с учетом высоты объектов защиты и их расположения относительно железнодорожных путей. Необходимость и возможность их сооружения должны быть подтверждены соответствующими акустическими и прочностными расчетами.

Высота экрана определяется по эпюрам вертикального разреза территории в наиболее характерных точках с учетом перепада высот и с учетом того факта, что защищаемые от шума жилые дома должны находиться в зоне геометрической тени экрана.

Расстояния a , b и c рассчитывают с точностью до сотых долей метра по формулам:

$$a = \sqrt{S_1^2 + (h_{\text{экp}} - h_{\text{иш}})^2} \quad (4.2)$$

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

$$c = \sqrt{(S_1 + S_2)^2 + (h_{\text{рт}} - h_{\text{иш}})^2} \quad (4.4)$$

- где S_1 и S_2 — расстояния в горизонтальной плоскости от оси дальнего железнодорожного пути до экрана и от экрана до расчетной точки соответственно, м;
- $h_{\text{экр}}$ — высота экрана, м;
- $h_{\text{РТ}}$ — высота расчетной точки, м;
- $h_{\text{ИШ}}$ — высота источника шума, м

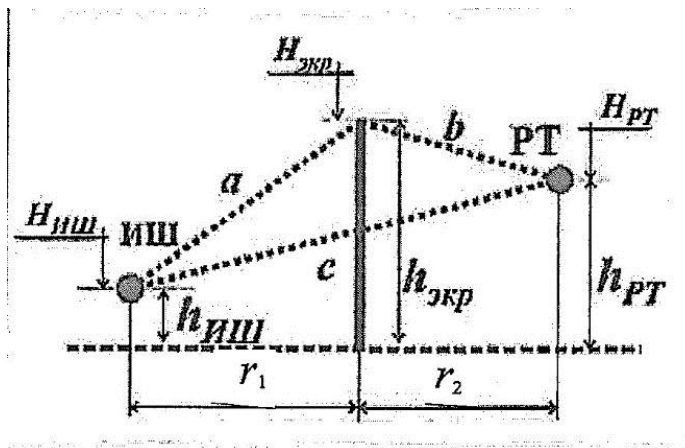


Рисунок 4.3 - Расчетная схема снижения шума экраном

Далее определяется разность длин путей звуковых лучей δ , м, и по ней рассчитывается число Френеля N

$$\delta = a + b - c \quad (4.5)$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (4.6)$$

- где δ — разность хода звуковых лучей через кромку экрана и через сам экран непосредственно;
- λ — длина звуковой волны, м, принимаемая для железнодорожных поездов равной 0,42 м.

По числу Френеля находится акустическая эффективность протяженного экрана по формуле:

$$\begin{aligned} A_{\text{экр}} &= 9 \lg N + 9 && \text{при } N \geq 1 \\ A_{\text{экр}} &= 4,5 \lg N + 8,35 && \text{при } 0,2 \leq N < 1 \\ A_{\text{экр}} &= 2 \lg N + 6,5 && \text{при } 0,01 \leq N < 0,2 \\ A_{\text{экр}} &= 2,2 && \text{при } 0 < N < 0,01 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Если боковые кромки экрана видны из расчетной точки под углом менее 160° , то экран относится к категории экранов ограниченной длины. Расчет акустической эффективности такого экрана проводят следующим образом.

Для того чтобы рассчитать акустическую эффективность экрана ограниченной длины, необходимо определить углы α_1 и α_2 (в градусах) между перпен-

дикуляром из расчетной точки к продольной оси железнодорожного пути и лучами, проведенными из расчетной точки к правому и левому концам экрана (рисунок 4.4).

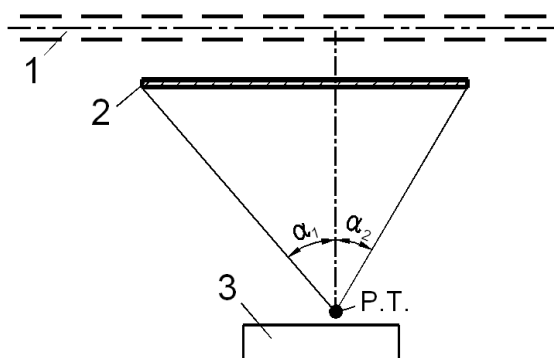


Рисунок 4.4. - Схема для определения акустической эффективности экрана ограниченной длины: 1 – железнодорожный путь; 2 – акустический экран; 3 – объект защиты; Р.Т. – расчетная точка

Акустическую эффективность экранов ограниченной длины следует рассчитывать в следующей последовательности:

1. Определяют акустическую эффективность протяженного экрана ($A_{\text{экp,прот}}$), имеющего ту же высоту и расположенного на том же расстоянии от железнодорожного пути, что и рассчитываемый экран ограниченной длины.
2. Определяют углы α_1 и α_2 , град., как показано на рисунке 3.4; для экрана ограниченной длины; при $\alpha_1 + \alpha_2 \leq 160$, невыполнении этого условия экран относится к протяженным экранам.
3. В зависимости от углов α_1 , α_2 и от величины $A_{\text{экp,прот}}$ определяются по таблице 4.1 величины $A_{\text{экp},\alpha_1}$ и $A_{\text{экp},\alpha_2}$.
4. Окончательно акустическая эффективность экранов ограниченной длины ($A_{\text{экp,огp}}$) находится по формуле:

$$A_{\text{экp,огp}} = A_{\text{экp},\alpha} + \Delta \quad (4.8)$$

где $A_{\text{экp},\alpha}$ – меньшая из величин $A_{\text{экp},\alpha_1}$ и $A_{\text{экp},\alpha_2}$, дБА;

Δ – коррекция, определяемая по таблице 4.2, в зависимости от разности величин $A_{\text{экp},\alpha_1}$ и $A_{\text{экp},\alpha_2}$, взятой со знаком плюс.

Таблица 4.1. Снижение уровня звука экраном в зависимости от угла α_1 и α_2

Угол, град.	45	50	55	60	65	70	75	80	85
$A_{\text{экр.прот, дБА}}$	Снижение уровня звука при данном угле α_1 и α_2 , $A_{\text{экр,}\alpha_1}$ и $A_{\text{экр,}\alpha_2}$, дБА								
6	1,2	1,7	2,3	3,0	3,8	4,5	5,1	5,7	6,0
8	1,7	2,3	3,0	4,0	4,8	5,6	6,5	7,4	8,0
10	2,2	2,9	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	9,0	10,0
12	2,4	3,1	4,0	5,1	6,2	7,5	8,8	10,2	11,7
14	2,6	3,4	4,3	5,4	6,7	8,1	9,7	11,5	13,3
16	2,8	3,6	4,5	5,7	7,0	8,6	10,4	12,4	15,0
18	2,9	3,7	4,7	5,9	7,3	9,0	10,8	13,0	16,8
20	3,2	3,9	4,9	6,1	7,6	9,4	11,3	13,7	18,7
22	3,3	4,1	5,1	6,3	7,9	9,8	11,9	14,5	20,7
24	3,5	4,3	5,8	6,5	8,2	10,2	12,6	15,4	22,5

Таблица 4.2. Коррекция Δ

Наименование показателя	Значение показателя											
Разность между $A_{\text{экр,}\alpha_1}$ и $A_{\text{экр,}\alpha_2}$, дБ	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Коррекция Δ , дБ	0	0,8	1,5	2,0	2,4	2,6	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0

Для расчета требуемой высоты экрана необходимо определить место установки экрана, исходя из удобства его монтажа. При этом целесообразно располагать экран как можно ближе к железной дороге, но не далее 5 м от ее края (в предельных случаях до 10 м, когда нет реальной возможности расположить экран ближе к дороге, однако акустическая эффективность экрана при этом будет заметно снижена).

Далее задают первоначальную высоту экрана $h_{\text{экр}}$ не менее 2 м, выполняют расчет ожидаемой акустической эффективности экрана и, если она меньше требуемого значения, то расчет повторяют при большей высоте экрана. Обычно по сложившейся практике сооружают экраны высотой не более 6 м.

Сооружение экранов большей высоты возможно, но технически значительно сложнее (необходимо забивать сваи и усиливать устойчивость экрана). Поэтому во многих случаях расчеты акустической эффективности экрана выполняют для высот в пределах от 2 до 6 м с различным шагом (например, 0,5 или 1,0). Если при этом не удастся достичь требуемого снижения шума $A_{\text{треб}}$, то экран располагают ближе к магистрали и повторяют расчеты, начиная опять с $h_{\text{экр}} = 2$ м.

Если требуемое снижение шума очень большое и его не удастся обеспечить экраном–стенкой, то рассматривают возможность применения других типов экранов (выемки, земляные валы, насыпи и т.п.).

4.3. Пример определения параметров шумозащитного экрана

Исходные данные для расчета:

Схема объекта защиты, для которого необходимо запроектировать акустический экран, и местоположение дороги приведены на рисунке 4.1. Для выполнении курсовой работы схема выдается преподавателем в качестве исходных данных.

Расстояние между акустическим центром источника шума и расчетной точкой – 200 м.

Акустический экран предназначенного для защиты от шума поездов смешанной жилой застройки, состоящей из зданий высотой 3 этажа. Высота расчетной точки над уровнем территории $h_{РТ} = 7$ м.

Акустический центр источника шума принят на высоте 0,5 м над уровнем земляного полотна, т.е. $h_s = 0,5$ м.

Акустический экран устанавливается на расстоянии 5 м от оси ближайшего железнодорожного пути, т.е. $S_1 = 5$ м.

Протяженность населенного пункта вдоль $l = 1560$ м.

Расстояния от крайних объектов защиты до акустического экрана: $d_1 = 80$ м, $d_2 = 130$ м

Расчет шумозащитного экрана заключается в определении его длины и высоты.

Общая длина протяженного акустического экрана $l_{\text{экp}}$ определяется по формуле (4.1).

$$l_{\text{экp}} = 4,5 \times 80 + 1560 + 4,5 \times 130 = 2505 \text{ м.}$$

Расчетная схема для определения величины снижения шума экраном приведена на рисунке 4.3.

Расстояние между акустическим центром источника шума и расчетной точкой – 200 м, $S_1 = 5$ м (см. исходные данные), тогда с учетом (4.2) – (4.4):

$$S_2 = 200 - S_1 = 200 - 5 = 195 \text{ м}$$

$$a = \sqrt{S_1^2 + (h_{\text{экp}} - h_{\text{ИШ}})^2} = \sqrt{5^2 + (h_{\text{экp}} - 0,5)^2}$$

$$b = \sqrt{S_2^2 + (h_{\text{экp}} - h_{\text{РТ}})^2} = \sqrt{195^2 + (h_{\text{экp}} - 7)^2}$$

$$c = \sqrt{(S_1 + S_2)^2 + (h_{\text{РТ}} - h_{\text{ИШ}})^2} = \sqrt{(5 + 195)^2 + (7 - 0,5)^2} = 200,11 \text{ м}$$

Расчеты акустической эффективности экрана выполняют для высот в пределах от 2 до 6 м с шагом 1,0 м, начиная с $h_{\text{экp}} = 2$ м. Результаты расчета представлены в таблице 4.2.

Для $h_{\text{экp}} = 2$ м

$$a = \sqrt{5^2 + (h_{\text{экp}} - 0,5)^2} = \sqrt{5^2 + (2 - 0,5)^2} = 5,22 \text{ м}$$

$$b = \sqrt{195^2 + (2 - 7)^2} = 195,06 \text{ м}$$

Разность длин путей звуковых лучей δ определяется по (4.5)

$$\delta = a + b - c = 5,22 + 195,06 - 200,11 = 0,17 \text{ м}$$

Число Френеля N определяется по (4.6)

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \times 0,17}{0,42} = 0,83$$

Акустическая эффективность экрана-стенки, дБА, определяется по (4.7).

Поскольку $N = 0,83$, т.е. $0,2 \leq N < 1$, то

$$A_{\text{экp}} = 4,5 \lg N + 8,35 = 4,5 \lg 0,83 + 8,35 = 7,99 \text{ дБА}$$

Для $h_{\text{экp}} = 3 \text{ м}$

$$a = \sqrt{5^2 + (h_{\text{экp}} - 0,5)^2} = \sqrt{5^2 + (3 - 0,5)^2} = 5,59 \text{ м}$$

$$b = \sqrt{38025 + (3 - 7)^2} = 195,04 \text{ м}$$

$$\delta = a + b - c = 5,59 + 195,04 - 200,11 = 0,52 \text{ м}$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \times 0,52}{0,42} = 2,38$$

$$A_{\text{экp}} = 9 \lg N + 9 = 9 \lg 2,38 + 9 = 12,39 \text{ дБА}$$

Для $h_{\text{экp}} = 4 \text{ м}$

$$a = \sqrt{5^2 + (h_{\text{экp}} - 0,5)^2} = \sqrt{5^2 + (4 - 0,5)^2} = 6,10 \text{ м}$$

$$b = \sqrt{38025 + (4 - 7)^2} = 195,02 \text{ м}$$

$$\delta = a + b - c = 6,10 + 195,02 - 200,11 = 1,01 \text{ м}$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \times 1,01}{0,42} = 4,81$$

$$A_{\text{экp}} = 9 \lg N + 9 = 9 \lg 4,81 + 9 = 15,14 \text{ дБА}$$

Для $h_{\text{экp}} = 5 \text{ м}$

$$a = \sqrt{5^2 + (h_{\text{экp}} - 0,5)^2} = \sqrt{5^2 + (5 - 0,5)^2} = 6,73 \text{ м}$$

$$b = \sqrt{38025 + (5 - 7)^2} = 195,01 \text{ м}$$

$$\delta = a + b - c = 6,73 + 195,01 - 200,11 = 1,63 \text{ м}$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \times 1,63}{0,42} = 7,76$$

$$A_{\text{экp}} = 9 \lg N + 9 = 9 \lg 7,76 + 9 = 17,01 \text{ дБА}$$

Для $h_{\text{экp}} = 6 \text{ м}$

$$a = \sqrt{5^2 + (h_{\text{экp}} - 0,5)^2} = \sqrt{5^2 + (6 - 0,5)^2} = 7,43 \text{ м}$$

$$b = \sqrt{38025 + (6 - 7)^2} = 195,00 \text{ м}$$

$$\delta = a + b - c = 7,43 + 195,00 - 200,11 = 2,32 \text{ м}$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \times 2,32}{0,42} = 11,05$$

$$A_{\text{экp}} = 9 \lg N + 9 = 9 \lg 11,05 + 9 = 18,39 \text{ дБА}$$

Результаты расчетов, выполненных для ближайшего к железной дороге участка застройки, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Результаты расчета величины экранирующего эффекта экрана

Расстояние до красной линии жилой застройки R, м	Высота расчетной точки $h_{\text{РТ}}$, м	Высота экрана $h_{\text{экp}}$, м	Экранирующий эффект экрана $A_{\text{экp}}$, дБА	Требуемое снижение шума $A_{\text{треб}}$ день/ночь дБА	Минимальная требуемая высота экрана, м	Требуемая длина экрана с учетом протяженности застройки, м
200	7	2	7,99	13,65 /21,56		2505
		3	12,39			
		4	15,14			
		5	17,01			
		6	18,39			

Величина требуемого значения снижения уровня шума составляет (см. таблицу 3.9):

- При расчете по эквивалентному уровню звука: днем 13,65 дБА и ночью 21,56 дБА;
- При расчете по максимальному уровню звука: днем 12,75 дБА и ночью 15,03 дБА.

Сооружение акустического экрана протяженностью 2505 м и максимально допустимой высотой 6 м не позволит снизить уровень шума до нормативных значений (эквивалентный уровень звука ночью будет превышен). Необходимо предусмотреть дополнительные шумозащитные мероприятия

Уровень звука, дБА	Уровень шума на территории, дБА			
	L_A	L_A доп	Превышение, дБА	
Эквивалентный	день	70,74	55	15,74
	ночь	63,55	45	18,55
Максимальный	день	82,75	70	12,75
	ночь	75.03	60	15.03

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Постановление правительства. О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию [Текст]: постановление правительства: [принят 16.02.2008 № 87]. - М.: «Российская газета» от 27 февраля 2008 г. № 41, в Собрании законодательства Российской Федерации от 25 февраля 2008 г. № 8 ст. 744.
2. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, СПб., НИИ Атмосфера, 2005 .Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. Утверждены Федеральным дорожным департаментом Минтранса России 26.06.1995 года.
3. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом). М, 1998.
4. Дополнения к методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом). М, 1999.
5. ГОСТ 33325-2015 Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом. Дата введения 2016-03-01
6. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1).
7. ГОСТ 23337-2014 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий»
8. ГОСТ 31296.2-2006 «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2 Определение уровней звукового давления»
9. ГОСТ 31295.2. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2 Общий метод расчета