

УДК 504.05/.06

EDN: ONUOSY

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА

©Автор(ы) 2024

SPIN: 9459-8170

AuthorID: 1122812

ORCID: 0009-0000-1224-1770

ResearcherID: JCW-6897-2023

МИШИНА Кристина Дмитриевна, аспирант

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: kristina_mishina_1998@mail.ru)

SPIN: 3519-3682

AuthorID: 271281

ORCID: 0000-0002-3726

ResearcherID: v-7481-2018

ScopusID: 57205663503

БЕЗБОРОДОВА Оксана Евгеньевна, доктор технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Политехнический институт

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: oxana243@yandex.ru)

SPIN: 3024-1393

AuthorID: 183204

ORCID: ID 0000-0001-9299-1005

ResearcherID: Y-3115-2018

ScopusID: 56613172200

БОДИН Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Техническое управление качеством»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11, bodin_o@inbox.ru)

SPIN: 5333-3870

AuthorID: 671445

ORCID: 0009-0004-2721-3839

КАМАРДИНА Наталья Владленовна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техносферная безопасность» Политехнический институт

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, г. Пенза, улица Красная, 40, e-mail: alisa-melafon@mail.ru)

Аннотация. Развитие общества привело к увеличению числа промышленных предприятий, автомобильного транспорта и росту городов и, как следствие, к увеличению объектов оказывающих акустическое воздействие на окружающую среду и человека. В последнее время акустическое воздействие связывают с проблемой обеспечения экологической безопасности. Акустическое воздействие приводит к заболеваниям органов слуха, сердечно-сосудистой и нервной систем, к психическим расстройствам, недосыпам и нарушением координации у человека. При распространении в окружающей среде акустическое воздействие нарушает нормальные процессы в растительном и животном мире. Для определения и оценки уровня акустического воздействия рассчитывают уровни шума в естественных экосистемах, местах работы и проживания людей и определяют риск возникновения. В работе приведены результаты определения и оценки уровня акустического воздействия объектов техносферы на окружающую среду и человека. Акустическое воздействие техногенных объектов на окружающую среду признано значимым ($L_{\text{общ}}=75$ дБ $>$ $L_{\text{пдв}}=70$ дБА) и его увеличение из-за размещения на этой территории других объектов техносферы или увеличение воздействия уже существующих недопустимо. Рассчитанные значения риска возникновения заболеваний органов слуха, сердечно-сосудистой и нервной систем у человека, усредненные за сутки показывают его невысокое значение $R_{\text{т}}^{\text{Акс}} = 0,0183$, но при более длительном акустическом воздействии риск возникновения заболеваний будет расти. Основываясь на проведенном исследовании можно сказать, что акустическое воздействие объектов техносферы вредно воздействует на естественную экосистему (окружающую среду) и функциональное состояние организма человека. Следовательно, необходимы природоохранные и лечебно-профилактические мероприятия направленные на уменьшение акустического воздействия.

Ключевые слова: шум, акустическое воздействие, предельно допустимый уровень, риск для биоты, риск для здоровья человека, оценка риска, окружающая среда, функциональное состояние организма человека, приведенный индекс риска.

INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL AND HUMAN IMPACT OF INDUSTRIAL NOISE

©The Author(s) 2024

MISHINA Kristina Dmitrievna, postgraduate student*Penza State University**(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: kristina_mishina_1998@mail.ru)***BEZBORODOVA Oksana Evgenievna**, doctor of technical sciences, docent,

head of the department «Technosphere Safety» Polytechnic Institute

*Penza State University**(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: oxana243@yandex.ru)***BODIN Oleg Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor,

professor of the department «Technical quality management»

*Penza State Technological University**(440039, Penza, Baidukova proezd/Gagarin Street, 1a/11, bodin_o@inbox.ru)***KAMARDINA Natalya Vladlenovna**, candidate of technical sciences,

docent of the department «Technosphere Safety» Polytechnic Institute

*Penza State University**(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40, e-mail: alisa-melafon@mail.ru)*

Abstract. The development of society has led to an increase in the number of industrial enterprises, motor transport and urban growth and, as a consequence, to an increase in objects that have an acoustic impact on the environment and humans. Recently, acoustic impact has been associated with the problem of ensuring environmental safety. Acoustic exposure leads to diseases of the hearing organs, cardiovascular and nervous systems, mental disorders, lack of sleep and impaired coordination in humans. When distributed in the environment, acoustic impact disrupts normal processes in flora and fauna. To determine and assess the level of acoustic impact, noise levels in natural ecosystems, places of work and residence of people are calculated and the risk of occurrence is determined. The paper presents the results of determining and assessing the noise level from technosphere objects, calculating the risk of diseases of the hearing organs, cardiovascular and nervous systems in humans, and analyzes the influence of acoustic exposure on the environment. Based on the conducted research, we can say that the acoustic impact of technosphere objects has a harmful effect on the natural ecosystem (environment) and the functional state of the human body. Consequently, environmental and therapeutic and preventive measures aimed at reducing the acoustic impact are necessary.

Keywords: noise, acoustic impact, maximum permissible level, risk to biota, risk to human health, risk assessment, environment, functional state of the human body, reduced risk index.

Мишина К.Д. Исследование уровня воздействия на окружающую среду и человека производственного шума / К.Д. Мишина, О.Е. Безбородова, О.Н. Бодин, Н.В. Камардина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 2(66). – С. 196-203. – EDN: ONUOSY.

Введение. Активное использование результатов научно-технических исследований в промышленности влечет за собой рост количества и качества факторов риска, оказывающих негативное воздействие на естественные экосистемы (окружающую среду) и функциональное состояние организма человека. Многочисленные промышленные предприятия, транспортные средства и механические устройства являются источниками акустических колебаний, которые входят в тройку самых опасных экологических загрязнений в мире [1].

Шум (акустические колебания) – это неприятный или раздражающий звук, который вызывает отрицательные изменения состояния систем и органов человека, составляющих биосферы и, как минимум, мешающий восприятию информативных сигналов [2, 3]. В свою очередь под акустическим загрязнением окружающей среды понимается уровень звука больший, чем уровень звука в естественных экосистемах или резкий скачок шумовых характеристик. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) акустическое загрязнение составляет примерно 75% загрязнений на планете [4].

Согласно исследованиям ВОЗ наиболее благоприятный уровень звука для организма человека имеет уровень звука 20÷55 дБ. Шум в районе 130 дБ вызывает болезненные ощущения, а свыше 150 дБ является невыносимым для восприятия человека.

Наибольший вклад в общее акустическое загрязнение окружающей среды вносят объекты техносферы: автомобильный, железнодорожный транспорт (уровень шума 60-100 дБ), производственные объекты (уровень шума 70-115 дБ) [2, 5-7].

По данным ВОЗ длительное акустическое воздействие в диапазоне от 65 до 90 дБ оказывает раздражающее действие на нервную систему, повышает утомляемость, уровень усталости и агрессии. Продолжительное воздействие шума приводит к хроническим заболеваниям системы слуха и к глухоте, к заболеваниям сердечно-сосудистой системы: повышению артериального давления, изменению биохимического состава крови; выявлено, что заболевания желудочно-кишечного тракта чаще всего встречаются у людей, которые живут и работают в зоне высокой акустической нагрузки. Существуют данные, свидетельствующие об ответственности произ-

водственного шума за 15% случаев профзаболеваний [3, 8-17].

Акустическое загрязнение вызывает не только изменения функционального состояния организма человека, но также сказывается на нормальном протекании процессов в биосфере. Высокий уровень шума приводит к повышению утомляемости и нервозности у животных, к их дезориентации в пространстве: пчелы при звуке реактивного двигателя теряются в пространстве, морские млекопитающие из-за гидролокаторов теряют ориентацию в пространстве и могут выбрасываться на берег, из-за заглушения естественного шума происходит сдвигение ареалов их обитания. Доказано, что растения, которые находятся в зоне постоянного акустического воздействия, выделяют листьями большее количество влаги и быстрее засыхают [1, 18, 19].

Таким образом, контроль распространения акустического воздействия в естественных экосистемах – это насущная проблема обеспечения экологического благополучия.

Целью проведения работы является выявление динамики изменения акустического загрязнения в населенном пункте с различной структурой застройки (жилой массив, открытая территория, парковая зона)

и влияние этой динамики на биологические объекты (человек, растения, насекомые и пр.) в зависимости от расстояния от источника акустического загрязнения.

Для этого решается следующая совокупность задач:

- определение уровня акустического загрязнения, источниками которого являются два промышленных предприятия №№1,2; автострада;
- выявление динамики изменения акустического загрязнения от каждого объекта если шум проходит по территории с различной структурой застройки;
- выявление степени воздействия акустического загрязнения на системы и органы человека и элементы окружающей среды;
- оценить полученные результаты с точки зрения обеспечения экологического благополучия в территориальной техносфере.

Методология. Источниками акустического воздействия являются промышленные предприятия, автомобильный и железнодорожный транспорт, а также жилые комплексы. Способы оценки акустического воздействия зависят от объекта, на который направлено акустическое воздействие. В таблице 1 представлены условия оценки акустического воздействия [20, 21].

Таблица 1 – Условия оценки акустического воздействия

Объекты воздействия акустического фактора раздражения	Органы и системы организма человека			Окружающая среда (биота)		
	Органы слуха	Нервная система	Сердечно-сосудистая система			
Место проведения измерения	Рабочее место			Естественная среда обитания		
	Жилое помещение					
Время проведения измерения	Днем		Ночью		Днем	Ночью
Оцениваемые параметры	Уровень шума днем и ночью			Уровень шума днем		
	Эквивалентный уровень средневзвешенного шума			Уровень шума ночью		
	Риск нарушения слуха, сердечно-сосудистой и нервной систем					

Оценку риска изменения состояния органов слуха, нервной и сердечно-сосудистой систем по воздействием акустического шума осуществляют согласно [22, 23], рассчитывая эквивалентный уровень шума, характеризующий степень воздействия на функциональное состояние организма человека:

$$L_{DN} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \cdot (16 \cdot 10^{\frac{L_{Aday}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{Anight}+10}{10}}) \quad (1)$$

где L_{DN} – эквивалентный уровень шума без учета частотного состава, дБА; $L_{Aday} = L_{Aeq}$, 16 – эквивалентный уровень шума днем, пересчитанный на 16 часовую продолжительность воздействия, дБА; $L_{Anight} = L_{Aeq}$, 8 – эквивалентный уровень шума ночью, пересчитанный на 8 часовую продолжительность воздействия, дБА.

Для определения риска изменения функционального состояния организма человека (воздействие на слуховой аппарат, сердечно-сосудистую систему, нервную систему) используют систему уравнений:

$$\begin{cases} R_{t+1}^{A_{cl}} = R_t^{A_{cl}} + \left[0,0118 \cdot R_t^{A_{cl}} + 0,001 \cdot \left(\frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{A_{cl}})}{50} - 1 \right) \right] \cdot C \\ R_{t+1}^{A_{cc}} = R_t^{A_{cc}} + \left[0,052 \cdot R_t^{A_{cc}} + 0,015 \cdot \left(\frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{A_{cl}})}{58,5} - 1 \right) \right] \cdot C \\ R_{t+1}^{A_{nc}} = R_t^{A_{nc}} + \left[0,0074 \cdot R_t^{A_{nc}} + 0,016 \cdot \left(\frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{A_{cl}})}{43} - 1 \right) \right] \cdot C \end{cases} \quad (2)$$

где $R_t^{A_i}$ – риск изменения функционального состояния какой либо системы организма человека (слухового аппарата, сердечно-сосудистой системы, нервной системы) в момент времени t ; (R_t при $t=0$): $R_0^{A_{cl}} = 0,023$; $R_0^{A_{cc}} = 0,007$; $R_0^{A_{nc}} = 0,02855$ – начальные уровни риска для здоровья человека; $R_{t+1}^{A_i}$ – риск изменения функционального состояния какой либо системы организма человека (слухового аппарата, сердечно-сосудистой системы, нервной системы) в момент времени $t+1$ (зависит от C); $R_t^{A_{cl}}$ – риск изменения функционального состояния слухового аппарата на момент времени t ; $R_t^{A_{cc}}$ – риск изменения функционального состояния сердечно-сосудистой системы на момент времени t ; $R_t^{A_{nc}}$ – риск изменения

функционального состояния нервной системы на момент времени t ; $L_{den,t}$ – усредненный за сутки уровень шума на момент времени t , дБА; C – коэффициент, учитывающий время воздействия шума (устанавливают эмпирически).

Рассчитанные величины рисков дают возможность оценить тяжесть заболевания, результаты его лечения, а так же степень повреждения функциональных систем организма. По формулам (2) возможно провести определение значений риска для здоровья в интересующий момент времени.

Для расчета характеристики уровня риска определяют приведенный индекс риска заболеваний органов слуха, нервной и сердечно-сосудистой систем как:

$$\bar{R}_t^{Ai} = \frac{\Delta R_t^{Ai}}{1 - R_t^{Ai/\phi}} \quad (3)$$

где $\bar{R}_t^{Ai}$ – приведенный индекс риска изменения функционального состояния какой либо системы организма человека (слухового аппарата, сердечно-сосудистой системы, нервной системы); ΔR_t^{Ai} – дополнительный риск изменения функционального состояния какой либо системы организма человека в момент времени t ; $R_t^{Ai/\phi}$ – риск изменения

функционального состояния какой либо системы организма человека без акустического воздействия в момент времени t .

Для комплексной оценки риска изменения функционального состояния организма человека при акустическом воздействии с учетом увеличения риска за счет временного эмпирического коэффициента приведенный индекс риска здоровью определяют как:

$$\bar{R}_t^{Acon} = \frac{\Delta R_t^{Acon}}{1 - R_t^{Acon/\phi}} \quad (4)$$

где $\bar{R}_t^{Acon}$ – приведенный индекс риска изменения функционального состояния организма человека при акустическом воздействии в момент времени t ; ΔR_t^{Acon} – дополнительный совокупный риск изменения функционального состояния организма человека при акустическом воздействии на момент времени t ; $R_t^{Acon/\phi}$ – совокупный риск изменения функционального состояния организма человека без акустического воздействия в момент времени t .

Рассчитанное значение $\bar{R}_t^{Acon}$ анализируем по оценочной шкале, разработанной для приведенного индекса риска (табл. 2) и делаем вывод об опасности акустического воздействия для организма человека.

Таблица 2 – Количественные и качественные характеристики значений приведенного индекса риска

№ п/п	Количественная характеристика индекса риска, $\bar{R}_t^{Acon}$, доли единицы	Качественная характеристика индекса риска
1	$\bar{R}_t^{Acon} \leq 0,05$	Малый (пренебрежительно) – приемлемый
2	$0,05 \leq \bar{R}_t^{Acon} < 0,35$	Умеренный – неприемлемый
3	$0,35 \leq \bar{R}_t^{Acon} < 0,6$	Высокий – неприемлемый
4	$\bar{R}_t^{Acon} \geq 0,6$	Очень высокий – неприемлемый

Для исследования влияния акустического воздействия на окружающую среду проводят расчет уровня звука в данной точке от различных источников по формуле (5) и затем сравнивают полученные значения с ПДУ:

$$L_{общ} = 10 \cdot \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}) \quad (5)$$

где $L_1, L_2, \dots, L_n$ – уровни звука в расчетной точке от различных источников, которые определяются по формуле:

$$L_i = L_{ai} + 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{S_i} + \frac{4}{B}\right) \quad (6)$$

где L_{ai} – уровень звука источника шума, дБА; S_i – площадь воображаемой поверхности, окружающей источник шума и проходящей через исследуемую точку, m^2 ; $S_i = \pi \cdot r_i^2$; r_i – удаленность акустического центра источника шума от исследуемой точки, м; B – постоянная помещения или местности, где находится объект, на который воздействует шум, m^2 [24, 25]. Характеристика оценивания непостоянного шума является эквивалентный уровень звука, измеряемый в дБА [26].

Результаты. Проведены измерения уровней акустического воздействия на границах СЗЗ трех объектов техносферы (промышленного предприятия № 1; промышленного предприятия № 2; автодороги).

В качестве места расположения биоты рассмотрена парковая зона в черте города, находящаяся в пределах акустического воздействия этих объектов техносферы. Между объектами техносферы и парковой зоной расположен жилой массив. Парковая зона, в данном случае, выступает как звукопоглощающая среда, обеспечивая некоторое снижение акустического загрязнения (пропорционально коэффициенту снижения уровня звука (β , дБА/м) [27].

Измерения уровня акустического воздействия проведены в дневное время, когда на промышленных предприятиях осуществлялась работа и загруженность автомобильной дороги максимальна.

Исходными данными для расчета риска для систем и органов человека являются результаты контрольных замеров уровней шума выполненные на границах СЗЗ исследуемых объектов. Измерения проведены в дневное (с 6:00 до 22:00) и ночное время (с 22:00 до 6:00), с учетом того, что промышленные предприятия работают в одну смену и ночью не оказывают акустического воздействия. В этом случае парковой зоны на пути распространения акустического воздействия нет, поэтому расчет изменения уровня акустического воздействия проведен без учета звукопоглощения.

С использованием результатов контрольных замеров акустического загрязнения рассчитана динамика изменения этого параметра в окружающей среде.

Полученные данные представлены в таблице 3.

Согласно [28] ПДУ акустического воздействия для территорий парковой зоны находящейся вблизи жилых застроек составляет 70 дБА.

Для анализа тенденции временного ряда акустического воздействия на окружающую среду были получены математические модели в виде полиномиальных функций с использованием аппроксимации эмпирических автокорреляционных функций, которые характеризуют зависимость их значений от порядка коэффициента автокорреляции.

Построение аппроксимирующей функции осуществлялось методом кубической аппроксимации (табл. 4).

Динамика акустического воздействия на окру-

жающую среду представлена на рисунке 1.

По полученным в ходе измерений данным проведены расчеты уровня акустического воздействия на организм человека в жилой зоне. Результаты измерений и их обработки приведены в таблице 5.

Согласно [28] предельно допустимый уровень акустического загрязнения в местах проживания людей днем не должен превышать 55 дБА, ночью – 45 дБА.

Построение аппроксимирующей функции осуществлялось методом кубической аппроксимации (табл. 6).

Динамика акустического воздействия на организм человека представлена на рисунке 2.

Для детализации последствий акустического загрязнения организма человека в соответствии с [22] по формулам (2) и (3) рассчитаны значения риска для здоровья человека, значения которого приведены в таблице 7.

Таблица 3 – Фрагмент определения динамики изменения акустического загрязнения при распространении в окружающей среде

№ п/п	Источники акустического воздействия	L_{ai} , дБА	$r_{общ}$, м	$r_{л.м.}$, м	$r_{св.пр.}$, м	β , дБА/м	V , м ²	L_r , дБА	$L_{общ}$, дБА
1	Промышленное предприятие №1 (на границе СЗЗ)	71	300	150	150	0,25	20	62	75
2	Промышленное предприятие №2 (на границе СЗЗ)	83	250	150	100			74	
3	Автомобильная дорога	73	100	90	10			64	

Примечание: $r_{общ}$ – расстояние от источника акустического воздействия до точки измерения, в том числе протяженность парковой зоны ($r_{л.м.}$) и протяженность свободного пространства ($r_{св.пр.}$), м.

Таблица 4 – Результаты аппроксимации полученных временных рядов акустического воздействия на окружающую среду методом кубической аппроксимации

Промышленное предприятие №1 (на границе СЗЗ)	Промышленное предприятие №2 (на границе СЗЗ)	Автомобильная дорога
$y=0,00 \cdot x^3 - 0,00 \cdot x^2 - 0,03 \cdot x + 71,0$	$y=0,00 \cdot x^3 - 0,00 \cdot x^2 - 0,09 \cdot x + 87,00$	$y=-0,00 \cdot x^3 + 0,00 \cdot x^2 - 0,41 \cdot x + 72,72$
коэффициент корреляции – 0,99	коэффициент корреляции – 0,99	коэффициент корреляции – 0,98
коэффициент детерминации – 0,98	коэффициент детерминации – 0,98	коэффициент детерминации – 0,97
средняя ошибка аппроксимации, % – 0,61	средняя ошибка аппроксимации, % – 0,46	средняя ошибка аппроксимации, % – 0,76

Примечание: x – расстояние от источника акустического воздействия, м; y – уровень акустического воздействия, дБА.

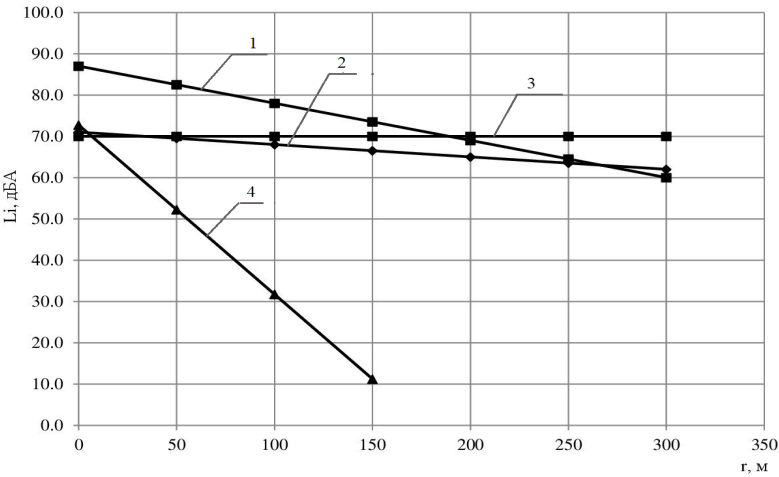


Рисунок 1 – Динамика акустического воздействия на окружающую среду:

1 – акустическое воздействие промышленного предприятия №2;
2 – акустическое воздействие промышленного предприятия №1; 3 – предельно допустимый уровень акустического воздействия для территорий парковой зоны; 4 – акустическое воздействие автодороги

Таблица 5 – Фрагмент результатов измерений и оценки акустического воздействия на организм человека в жилой зоне

№ п/п	Источники шума	L _{ai} , дБА		r _p , м	В, м²	L _p , дБ		L _{Aday} , дБ	L _{Anight} , дБ	L _{DN} , дБА
		Днем	Ночью			Днем	Ночью			
1	Промышленное предприятие №1 (на границе санитарно-защитной зоны)	71	–	100	20	64	–	77	62	76
2	Промышленное предприятие №2 (на границе санитарно-защитной зоны)	83	–	120		76	–			
3	Автомобильная дорога	73	69	70		66	62			

Таблица 6 – Результаты аппроксимации полученных временных рядов акустического воздействия на организм человека методом кубической аппроксимации

Промышленное предприятие №1 (на границе санитарно-защитной зоны) (днем)	Промышленное предприятие №2 (на границе санитарно-защитной зоны) (днем)
$y = -0,00 \cdot x^3 + 0,00 \cdot x^2 - 0,18 \cdot x + 82,96$	$y = -0,00 \cdot x^3 + 0,00 \cdot x^2 - 0,41 \cdot x + 77,71$
коэффициент корреляции – 1	коэффициент корреляции – 1
коэффициент детерминации – 1	коэффициент детерминации – 1
средняя ошибка аппроксимации, % – 0,16	средняя ошибка аппроксимации, % – 0,01
Автомобильная дорога	
днем	ночью
$y = -0,00 \cdot x^3 + 0,03 \cdot x^2 - 2,61 \cdot x + 166,56$	$y = -0,00 \cdot x^3 + 0,01 \cdot x^2 - 1,15 \cdot x + 119,17$
коэффициент корреляции – 1	коэффициент корреляции – 0,99
коэффициент детерминации – 0,99	коэффициент детерминации – 0,99
средняя ошибка аппроксимации, % – 0,28	средняя ошибка аппроксимации, % – 0,89

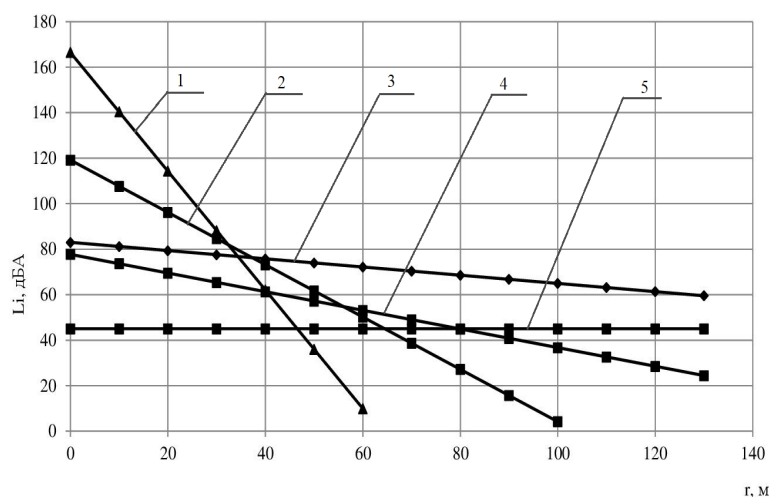


Рисунок 2 – Динамика акустического воздействия на организм человека:

1 – акустическое воздействие автодороги днем; 2 – акустическое воздействие автодороги ночью;
3 – акустическое воздействие промышленного предприятия №1; 4 – акустическое воздействие промышленного предприятия №2; 5 – предельно допустимый уровень акустического воздействия для жилых комнат квартир ночью

Таблица 7 – Риск для здоровья человека при воздействии на него средневзвешенного суточного шума с уровнем $L_{DN} = 76$ дБА.

№	Параметр	Значение риска	
		факт.	нормативное [22] низкий $\leq 0,05$
1	Риск заболевания слуха без акустического воздействия (фон)	$2,3 \cdot 10^{-2}$	+
2	Риск заболевания сердечно-сосудистой системы без акустического воздействия (фон)	$0,7 \cdot 10^{-2}$	+
3	Риск заболевания нервной системы без акустического воздействия (фон)	$2,9 \cdot 10^{-2}$	+
4	Риск заболевания слуха без акустического воздействия	$2,3 \cdot 10^{-2}$	+
5	Риск заболевания сердечно-сосудистой системы без акустического воздействия	$7,0 \cdot 10^{-3}$	+
6	Риск заболевания нервной системы без акустического воздействия	$2,9 \cdot 10^{-2}$	+
7	Приведенный индекс риска заболеваний органов слуха при акустическом воздействии	$1,5 \cdot 10^{-3}$	+
8	Приведенный индекс риска заболеваний сердечно-сосудистой системы при акустическом воздействии	$2,0 \cdot 10^{-4}$	+
9	Приведенный индекс риска заболеваний нервной системы при акустическом воздействии	$1,7 \cdot 10^{-2}$	+
10	Индекс риска для систем и органов (слух, сердце, нервы) организма человека $\bar{R}_t^{A_{\text{шум}}}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	+

В таблице 2 [22] приведена оценочная шкала качественного и количественного анализа риска по индексу $R_{\text{т.с.}}$. В соответствии с этой оценочной шкалой совокупный приведенный индекс риска для систем и органов человека при акустическом воздействии $R_{\text{т.с.}}$ является низким, почти не влияющим на здоровье населения, проживающего в исследуемом районе. В этом случае специалисты рекомендуют проводить выборочный мониторинг акустическом воздействии. Определение и анализ изменения риска следует проводить не реже одного раза в пять лет, а также в случае строительства в исследуемом районе новых объектов техносферы являющихся источниками акустического воздействия или строительства нового жилого района.

Обсуждение. Полученные данные по акустическому загрязнению окружающей среды и организма человека явно демонстрируют превышение фактического уровня шума по отношению к норме в источнике образования (предприятия №№1,2, автострада) [28]. После прохождения расстояния до расчетной точки уровень звука уменьшается и только от источника – промышленное предприятие № 2, остался превышающим предельно допустимый уровень. Но полученное значение общего уровня звука от всех трех источников на окружающую среду (биоту) превышает предельно допустимый уровень ($L_{\text{общ}}=75$ дБ > $L_{\text{ПДУ}}=70$ дБА). На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что дальнейшее влияние акустического шума в данных пределах от рассматриваемых источников приведет к негативным последствиям для окружающей среды (биоты), возможно гибель растительный массивов и некомфортное существование представителей животного мира.

При рассмотрении полученных данных влияния эквивалентного уровня звука от источников шума на организм человека видно, что эквивалентный уровень звука днем (шестнадцатичасовое воздействие) и ночью (восьмичасовое воздействие) не соответствуют нормативным значениям ($L_{\text{Аday}}=77$ дБ > $L_{\text{Д,ПДУ}}=55$ дБА; $L_{\text{Аnight}}=62$ дБ > $L_{\text{Н,ПДУ}}=45$ дБА).

Риск изменения состояния систем и органов человека в результате акустического загрязнения, усредненный за сутки, не превышает нормативных значений ($R_{\text{т.с.}}=0,0183$). Однако, учет временного фактора продолжительностью более одних суток приведет к накоплению риска для здоровья.

Основываясь на проведенном исследовании, можно сказать, что акустическое воздействие объектов техносферы (промышленное предприятие №1, промышленное предприятие №2, автодорога) вредно воздействует на естественную экосистему (окружающую среду) и функциональное состояние организма человека. Следовательно, необходимы природоохранные и лечебно-профилактические мероприятия направленные на уменьшение акустического воздействия.

Выводы. Проведенные исследования уровня воздействия на окружающую среду и человека производственного шума показали, что, несмотря на соответствие уровня шума от каждого объекта техносферы отдельно нормативам, на границе СЗЗ в зоне жилой застройки и в лесопарковой зоне их совокупный уровень шума превышает нормы или находится на ее верхней границе. При этом возникает риск приобретения заболеваний систем и органов человека (слуха, сердце, нервы).

Полученные результаты могут быть использованы для зонирования и оценки состояния территории города по величине риска для здоровья человека и состояния окружающей среды возникающего в результате акустического воздействия. Оценка риска постоянного нахождения человека и элементов окружающей среды в зоне акустического загрязнения выполнена в соответствии с требованиями [29].

Полученные значения динамики акустического загрязнения в городской среде с различными видами застройки позволят обоснованно выбирать места для размещения объектов с постоянным и непостоянным пребыванием людей и планировать размещение парковых зон в городе.

Результаты исследования могут быть использованы лицами, принимающими решения по обеспечению социально-гигиенического благополучия населения при выборе и осуществлении природоохранных мероприятий. Эти мероприятия могут сочетать архитектурно-планировочные, лечебно-профилактические и технические составляющие, направленные на снижение риска для элементов окружающей среды и здоровья человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зинкин В.Н. Негативные последствия промышленного и транспортного шума на окружающую среду и население // Материалы XII международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2018) / под общ. ред. В.П. Колосова. Благовещенск, 2018. – С. 177-181.
2. Ереженкова Н.Б. Влияние шума на организм человека // Мировая наука. – 2022. – №7 (64). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-shuma-na-organizm-cheloveka-1> (дата обращения: 30.01.2024).
3. Мишина К.Д., Безбородова О.Е. Влияние автотранспорта на функциональное состояние человека. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: сборник статей XVII Международной научно - практической конференции / Пензенский государственный университет [и др.]; под ред. Салмина В.В. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет 2023. – С. 133-137.
4. Минаева В.В., Гапоненко А.В. Влияние шума на организм человека // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-1. – С. 56-58.
5. Литвинов Ф.Б. Влияние городского шума на здоровье человека // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018011511> (дата обращения: 30.01.2024).
6. Ишамятова Ирина Хафисовна, Жукова Наталья Владимировна, Чабанов Антон Геннадьевич. Экологические показатели устойчивого развития земель городов пензенской области // Московский экономический журнал. – 2022. – №3. – С. 499-509. URL: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovs->

kij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-66/.

7. Эру Мариева, Браубах М., Дрмак Д., Король Н., Пауновик Е., Застенская И. Краткий обзор текущей деятельности Европейского регионального бюро относительно воздействия шума окружающей среды на здоровье // Гигиена и санитария. – 2014. – №5. – С. 25-28.
8. Рахимов Х.Р. Изучение влияния шума на организм человека // Международный школьный научный вестник. – 2018. – № 5-2. – С. 284-292.
9. Сарчук Е.В., Лебедева А.М., Узбекова Л.Д. Шумовое загрязнение как патогенный фактор для здоровья человека // StudNet. 2020. – №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shumovoe-zagryaznenie-kak-patogennyi-faktor-dlya-zdorovya-cheloveka> (дата обращения: 30.01.2024).
10. Пыко А.В., Мукалова О.А., Пыко А.А. Влияние транспортного шума и загрязнения воздуха на метаболическую и сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. – 2018. – Т. 2. – № 1. – С. 270-279.
11. Babisch W. Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. Noise Health. 2014;16(68):1-9. – DOI: 10.4103/1463-1741.127847.
12. Andersson EM, Wgren M, Moln r P, Segersson D, Rosengren A, Stockfelt L. Road traffic noise, air pollution and cardiovascular events in a Swedish cohort. Environ Res. 2020;185:109446. – DOI: 10.1016/j.envres.2020.109446.
13. Christensen JS, Raaschou-Nielsen O, Tj nnel nd A, et al. Long-term exposure to residential traffic noise and changes in body weight and waist circumference: A cohort study. Environ Res. 2015;143(Pt A):154-161. – DOI: 10.1016/j.envres.2015.10.007.
14. Eriksson C, Bodin T, Selander J. Burden of disease from road traffic and railway noise – a quantification of healthy life years lost in Sweden. Scand J Work Environ Health. 2017;43(6):519-525. – DOI: 10.5271/sjweh.3653.
15. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. Int J Environ Res Public Health. 2018;15(3):519. – DOI: 10.3390/ijerph15030519.
16. Zaitseva N, May I, Koshurnikov D, Balashov S. Evolution of the health disorders risk in the population under development of urbanized territories. Akustika. 2021;39:201-206. – DOI: 10.36336/akustika202139199.
17. Heritier, H., Vienneau, D., Foraster, M., Eze, I.C., Schaffner, E., de Hoogh, K., et al., 2019. A systematic analysis of mutual effects of transportation noise and air pollution exposure on myocardial infarction mortality: a nationwide cohort study in Switzerland. Eur. Heart J. 40 (7). – P. 598-603.
18. Koshurnikov D. Acoustic modeling for the tasks of hygienic assessment of the urban environment. Akustika. 2019;34: 37-41.
19. Fredianelli, L., Carpita, S., Licitra, G., 2019. A procedure for deriving wind turbine noise limits by taking into account annoyance. Sci. Total Environ. 648. – P. 728-736.
20. Подколзин П.Л., Преликова Е.А. Роль шумовой карты в создании комфортной среды проживания // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность 2020): Материалы II Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 апреля 2020 года. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет. – 2020. – С. 238-241.
21. Май Ирина Владиславовна, Цинкер М.Ю., Чигвинцев В.М., Кошурников Д.Н. Подход к оценке риска возникновения нарушения здоровья под воздействием шума // ЗНиСО. – 2011. – №10. – С. 10-12.
22. Методические рекомендации. 2.1.10.0059-12 Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума.
23. Алексеев Вадим Борисович, Май Ирина Владиславовна, Клейн Светлана Владиславовна, Кошурников Дмитрий Николаевич. Транспортный шум как фактор риска здоровью населения и установления ограничений использования земельных участков городских и сельских поселений // ЗНиСО. – 2022. – №10. – С. 25-32.
24. Шумилин, А.Д. Исследование транспортного шума на улицах города Пенза / А.Д. Шумилин, Н.Н. Вершинин, Л.А. Авдоница // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 103-109. – DOI: 10.21685/2307-4205-2016-3-16.
25. Хусаинов И.Г. Математическое моделирование защиты объектов от шума // Современная математика и ее приложения: материалы международной научно-практической конференции, Уфа, 18-20 мая 2017 года. Уфа: Башкирский государственный университет, Стерлитамакский филиал, 2017. – С. 367-372.
26. ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий (с Поправками, с Изменением N 1).
27. МУК 4.3.2194-07. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых помещениях и общественных зданиях и помещениях.
28. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
29. МР 2.1.10.0059-12. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума. Методические рекомендации.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024

Статья принята к публикации 17.06.2024