



Балакин В.В., Алексиков С.В., Чеснокова О.Г.

## Формирование оптимального аэрационного режима и обеспечение качества атмосферного воздуха градостроительными средствами

Институт архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»  
Министерства образования и науки России, 400074, Волгоград, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Оптимальный аэрационный режим и гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в воздухе общественных пространств, тесно контактирующих с транспортными потоками (пешеходные тротуары), на улично-дорожных сетях городов в различных климатических областях обеспечивается выбором наиболее рациональных градостроительных решений при трассировании, планировке, застройке и озеленении транспортных коммуникаций.

**Материалы и методы.** Измерение скорости ветра, отбор и химический анализ по общепринятым методикам проб воздуха на участках магистральных улиц в крупных городах.

**Результаты.** Установлены закономерности трансформации ветра по скорости и формирования концентрации токсичных примесей в воздухе на городских улицах. Выделены оптимальные варианты планировки и озеленения транспортных коммуникаций для формирования оптимального аэрационного режима и защиты пешеходных зон и общественных пространств от загазованности.

**Ограничения исследования.** Постановка задач и выбор объектов исследования ограничены изучением распределения скорости ветра и концентраций токсичных ингредиентов в воздухе магистральных улиц общегородского и районного значения.

**Заключение.** Градостроительные мероприятия по формированию комфортного аэрационного режима и обеспечению высокого качества атмосферного воздуха включают выбор направления трассы с учётом розы ветров, размеров поперечного профиля и оптимальных планировочных и конструктивных решений по застройке и озеленению городских дорог и улиц.

**Ключевые слова:** аэрационный режим; улицы; пешеходные зоны; концентрация примесей; скорость ветра; направление трассы; приёмы планировки; зелёные насаждения

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Балакин В.В., Алексиков С.В., Чеснокова О.Г. Формирование оптимального аэрационного режима и обеспечение качества атмосферного воздуха градостроительными средствами. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(4): 384–390. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-4-384-390> <https://elibrary.ru/jdspuy>

**Для корреспонденции:** Балакин Владимир Васильевич, e-mail: [balakin-iaais@yandex.ru](mailto:balakin-iaais@yandex.ru)

**Участие авторов:** Балакин В.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Алексиков С.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Чеснокова О.Г. — сбор и обработка материала, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 04.09.2024 / Поступила после доработки: 01.11.2024 / Принята к печати: 03.12.2024 / Опубликовано: 30.04.2025

Vladimir V. Balakin, Sergey V. Aleksikov, Oksana G. Chesnokova

## Formation of an optimal aeration regime in ensuring the quality of atmospheric air by urban planning means

Institute of Architecture and Building, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400074, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Optimal aeration regime and hygienic standards for the content ingredients in the air of pedestrian pavements and public spaces in close contact with traffic flows on the street and road networks of cities in different climatic regions are ensured by selecting the most rational urban planning solutions in the routing, layout, development, and landscaping of transport communications.

**Materials and methods.** Wind speed measurement, air sampling and chemical analysis of air samples on main street sections in large cities according to commonly accepted methods.

**Results.** Regularities of wind speed transformation and formation of concentration of toxic impurities in the air on urban streets have been established. Optimal variants on layout and landscaping of transport communications for formation of optimal aeration regime and protection of pedestrian zones and public spaces from gassiness are identified.

**Limitations.** The problem statement and choice of research objects are limited to the study of wind speed distribution and concentrations of toxic ingredients in the air of main streets of citywide and district significance.

**Conclusions.** Urban planning measures to form a comfortable aeration regime and ensure high quality of atmospheric air include selection of the route direction taking into account the wind rose, dimensions of the cross profile and optimal planning and design solutions for the development and landscaping of urban roads and streets. The maximum reduction in the concentration of toxic impurities on streets with frontal building occurs at the height of woody plants at the level of the middle of building facades. On the streets of small width with two-sided dense building, comfortable aeration regime and minimum concentrations of ingredients are noted at the formation of landscaping strips of blown structure.

**Keywords:** aeration regime; main streets; pedestrian zones; concentration of impurities; wind speed; route direction; planning techniques; green spaces

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Balakin V.V., Aleksikov S.V., Chesnokova O.G. Formation of an optimal aeration regime in ensuring the quality of atmospheric air by urban planning means. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(4): 384–390. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-4-384-390> <https://elibrary.ru/jdspuy> (In Russ.)

**For correspondence:** Vladimir V. Balakin, e-mail: [balakin-iaais@yandex.ru](mailto:balakin-iaais@yandex.ru)

**Contribution:** Balakin V.V. — the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; Aleksikov S.V. — the concept and design of the study, editing; Chesnokova O.G. — collection and processing of material, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: September 4, 2024 / Revised: November 11, 2024 / Accepted: December 3, 2025 / Published: April 30, 2025

## Введение

Пешеходная инфраструктура населённых мест в виде непрерывной системы, включающей тротуары, пешеходные улицы, мосты и переходы, площади, бульвары, скверы и аллеи, обеспечивает беспрепятственный пропуск пешеходных потоков по изолированным от транспорта линейным коридорам, формируемым для общественной жизни людей [1]. Пешеходные зоны и общественные пространства на улицах, площадях и территории общественных центров, торгово-развлекательных комплексов, пересадочных узлов становятся всё более распространёнными элементами планировочной структуры городов. Для пользователей этих путей сообщения особенно актуально обеспечение безопасности, удобств и комфортного микроклимата, снижения уровня шума и загрязнения воздуха отработавшими газами (ОГ) автомобильного транспорта<sup>1</sup>.

На снижение уровня загрязнения воздуха городских дорог и улиц компонентами выброса автомобилей существенное влияние оказывает скорость ветра [2]. Теснота зависимости концентрации оксида углерода над краем проезжей части от интенсивности движения автомобилей и скорости ветра оценивается близкими значениями коэффициента корреляции — в пределах 0,85–0,9 и 0,7–0,78 соответственно [3]. Вместе с этими факторами на концентрацию примесей в воздухе городских улиц наиболее заметное влияние оказывают приёмы планировки и застройки, определяющие площадь поверхности, через которую происходит удаление ингредиентов в окружающее пространство. В крупных городах концентрации оксида углерода (CO) и диоксида азота (NO<sub>2</sub>), не превышающие максимальных разовых ПДК ( $\leq 5$  и  $\leq 0,2$  мг/м<sup>3</sup> соответственно)<sup>2</sup>, отмечаются при скорости ветра 3–4 м/с преимущественно на участках магистральных улиц с торцовой (строчной) и свободной застройкой [4]. Такая скорость соответствует комфортным и субкомфортным классам погод [5], что даёт возможность использовать территории в различных климатических областях для рекреационных целей в достаточно широком диапазоне температуры и относительной влажности воздуха, соответствующем общему комфортному состоянию городской среды [2]. Для соблюдения гигиенических нормативов содержания токсичных веществ в воздушном бассейне городов реализуется также трассирование основных транспортно-коммуникационных коридоров вдоль господствующего направления ветра, позволяющее сохранить и даже увеличить скорость воздушных потоков [2].

Отсюда следует, что соблюдение гигиенических нормативов содержания токсичных ингредиентов в воздухе пешеходных коммуникаций может обеспечиваться в проектной практике путём последовательного выбора градостроительных решений по направлению трассы и приёмам планировки, застройки и озеленения дорог и улиц. При этом в ландшафтных зонах с выраженными сезонными колебаниями климатообразующих факторов, связанными с циркуляцией атмосферы, при выборе планировочных решений объектов транспортной инфраструктуры и жилых районов поселений необходим индивидуальный подход [2]. Одной из основных задач градостроительства в ландшафтно-климатических зонах со средней скоростью ветра 5–10 м/с и более, где в холодный период года у жителей поселений может возникать напряжение терморегуляции, развиваться холодовый стресс и появляться опасность обморожения [6], является защита жилых районов от холодных воздушных потоков, снеготаносов, пыльных и песчаных бурь. На стадии проектирования генерального плана города реализуются ветрозащитные

функции рельефа и зелёных массивов. При детальном проектировании населённых пунктов используют замкнутые по отношению к преобладающим направлениям ветров группы зданий для защиты от сильного холодного ветра объектов, особенно чувствительных к переохлаждению, — детских образовательных организаций, лечебно-оздоровительных учреждений [4]. При этом жилые группы раскрываются в сторону румбов с наиболее низкой средней скоростью ветра [6].

В ландшафтно-климатических зонах со средними скоростями ветра менее 5 м/с за год или в тёплый период года «актуальной задачей градостроительного проектирования является поиск таких объёмно-планировочных решений групп зданий, которые стимулируют естественное проветривание, обеспечивая максимальное сохранение, а в некоторых случаях усиление исходных скоростей ветра в жилой застройке» [7]. Наиболее эффективное проветривание магистральных улиц достигается здесь их трассированием по направлению преобладающих ветров по повторяемости. При перпендикулярном положении трассы транспортных коммуникаций относительно румба с преобладающими ветрами оптимальный аэрационный режим и снижение загазованности зон пешеходного движения обеспечиваются путём застройки наветренной стороны «легко обтекаемыми зданиями башенного типа, линейными короткокорпусными зданиями или зданиями большой протяжённости и повышенной этажности, обращёнными торцами в сторону благоприятного румба» [8]. Сохранение исходной скорости ветра и эффективное рассеяние токсичных компонентов ОГ на участках улично-дорожной сети (УДС) достигается также приёмами свободной планировки с наветренной стороны, расположением зданий под углом к линии застройки, с отступом от красной линии, смещением их осей в ряду, чередованием этажности и изменением конфигурации в плане [2]. В тёплое время года для сохранения аэрационного потенциала в жилой застройке и общественных пространствах используют циркуляционные механизмы мезомасштабного уровня — горно-долинную и бризовую циркуляцию воздушных масс [9]. Вместе с тем следует учитывать, что внутриквартальное пространство остаётся открытым для распространения выбросов автомобильного транспорта при ветрах противоположного направления. Натурные наблюдения на магистральных улицах крупного города показали, что при отсутствии защитных зелёных насаждений и экранирующих устройств вариант свободной застройки открывает внутриквартальное пространство загрязнённым воздушным потокам и не обеспечивает необходимой чистоты воздуха даже при значительном удалении от магистрали (на 50–100 м). Снижение концентраций двуокиси азота и фотооксидантов на таком расстоянии не превышает 40% [10]. Поэтому для защиты жилых образований от распространения выбросов автомобильного транспорта на наветренной стороне магистральных улиц рекомендуется использовать групповые посадки древесно-кустарниковых растений, малоэтажные здания нежилого назначения, акустические экраны и другие экранирующие устройства.

Для регулирования режима аэрации, защиты от загрязнения выбросами автомобилей воздуха пешеходных зон и общественных пространств, организуемых на городских улицах, в сочетании со средствами планировки и застройки применяют посадку древесно-кустарниковых растений между проезжей частью и линией застройки [11, 12]. Древесно-кустарниковые насаждения как наиболее важный компонент урбанизированного ландшафта и травянистая растительность участвуют в удалении загрязняющих веществ из атмосферы и переносе их в наземные экосистемы. Снижение загрязнения воздуха происходит за счёт поглощения древесно-кустарниковыми растениями токсичных веществ, транслокации по их органам [11], удаления в корни и почву, а также путём экранирования и рассеяния при оптимальных конструктивных и планировочных параметрах формируемых объектов озеленения [12]. Одновременно линейно-полосные структуры и групповые посадки зелёных насаждений на городских улицах препятствуют распространению

<sup>1</sup> Рекомендации по модернизации транспортной системы городов. МДС 30–2.2008 / ЦНИИП градостроительства РААСН. М.: ОАО «ЦПП», 2008. 70 с.

<sup>2</sup> СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утв. Гл. гос. санитарным врачом РФ 28.01.2021 г.

транспортного шума, снижают скорость холодных ветровых потоков зимой и температуру воздуха в тёплый период года, обеспечивают защиту жилых зданий от избыточной инсоляции. Оздоровительные функции древесно-кустарниковых растений проявляются при поглощении свободной углекислоты, хлоридов и фторидов, выделении кислорода и фитонцидов, снижении запылённости [13].

Наряду с санитарно-гигиеническими и эстетическими функциями, выполняемыми в пределах урбанизированных территорий, зелёные насаждения оказывают лечебно-профилактическое и эмоциональное воздействие на человека. Зелёный цвет надземных частей растений расширяет цветочное сочетание городского ландшафта, уменьшает утомляемость глаз, успокаивает дыхание, расширяет сосуды, снижает кровяное давление [13]. Путём включения зелёных насаждений в элементы пейзажа можно формировать городские ландшафты успокаивающего воздействия на население, сглаживать и снижать напряжённость и конфликтность урбанизированной среды [14], поэтому при разработке схем озеленения населённых пунктов и выборе конструктивных решений объектов озеленения необходимо учитывать комплексный характер их оздоровительного воздействия на жителей.

*Цель исследования* — изучение закономерностей трансформации воздушного потока и концентрации выбросов автомобильного транспорта в воздухе городских дорог и улиц под воздействием застройки и полос зелёных насаждений с разработкой системы градостроительных мероприятий по формированию комфортного аэрационного режима и снижению загазованности общественных пространств и пешеходных коммуникаций.

## Материалы и методы

Для натурных наблюдений выбраны участки магистральных улиц общегородского и районного значения в крупных городах III климатической области. Объекты исследования отличаются характером планировки, этажностью застройки и конструкцией полос зелёных насаждений. Всего за шесть экспедиционных выездов обследовано 55 участков магистральных улиц, отобрано и обработано 2050 проб воздуха для определения содержания оксида углерода CO. В 1056 пробах воздуха определяли концентрации оксидов азота NO и NO<sub>2</sub>. Натурные наблюдения выполняли в различных микроклиматических условиях.

Пробы воздуха отбирали синхронно на подветренной стороне улиц над краем проезжей части, в пределах полос озеленения, на пешеходных тротуарах и у линии застройки на высоте 1,5 м, соответствующей уровню дыхания пешеходов. Одновременно фиксировали снижение концентрации ингредиентов с удалением от проезжей части на открытой территории. При отборе проб воздуха для выявления содержания CO в пунктах наблюдения газовоздушную смесь протягивали электроаспиратором ЭА-30 в течение пяти минут со скоростью 0,1 л/мин по полихлорвиниловым трубкам через стеклянные колбы с зажимами на входе и выходе. Концентрация CO в пробах изучали с помощью титриметрического газоанализатора ТГ-5. При определении концентрации NO и NO<sub>2</sub> в воздухе использован метод их раздельного определения с окислением NO до NO<sub>2</sub> и последующим поглощением NO<sub>2</sub> раствором иодида калия KI [15]. Для этого газовоздушную смесь пропускали через абсорбционные сосуды, заполненные раствором KI. Для анализа растворов на содержание NO + NO<sub>2</sub> использовали фотоэлектроколориметр ФЭК-56. Для определения скорости ветра в пунктах наблюдений использовали два чашечных анемометра МС-13, закреплённых с помощью штатива на высоте 1,5 м от земли. Перед каждой серией (40–50 измерений) рабочие анемометры сверяли с контрольными приборами. Для контроля использовали новые анемометры, которые включали три раза на 10 мин. При расхождении скорости ветра, вычисленной по показаниям рабочих и контрольных анемометров, более чем

на 0,1 м/с рабочие анемометры отбраковывали. Направление ветра при отборе проб воздуха фиксировали по анеморомбметру МВ-4М, установленному на открытой территории.

## Результаты

Установлены закономерности трансформации ветра по скорости на поперечном сечении улиц с полосами зелёных насаждений плотной и продуваемой конструкций (см. рисунок, а).

Изучено изменение концентраций NO + NO<sub>2</sub> (см. рисунок, б) и CO (см. рисунок, в) в воздухе в пределах тротуарной части городских улиц с двух-, трёх-, пяти- и девятиэтажной свободной и фронтальной застройкой при поперечном направлении ветра.

Газозащитную эффективность ( $\omega$ ) полос зелёных насаждений по отношению к зонам пешеходного движения в процентах (см. таблицу) рассчитывали по формуле (1):

$$\omega = \left(1 - \frac{q}{q_0}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

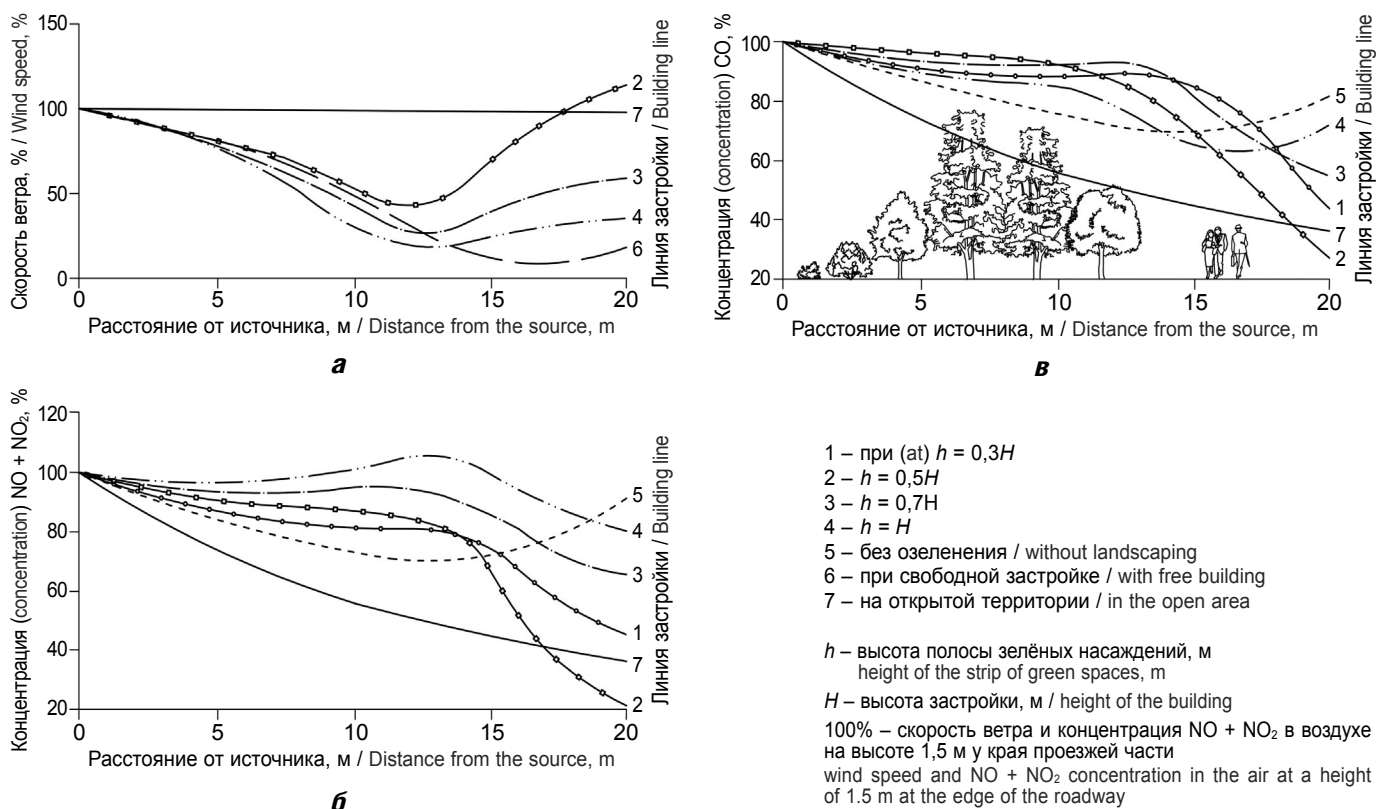
где  $q_0$  — концентрация ингредиентов в воздухе над краем проезжей части на высоте 1,5 м (мг/м<sup>3</sup>);  $q$  — то же, за полосой озеленения.

Максимальное снижение концентрации токсичных примесей на улицах с фронтальной застройкой происходит при высоте древесных растений на уровне середины фасадов зданий. На улицах малой ширины с двусторонней плотной застройкой комфортный аэрационный режим и минимальные концентрации загрязняющих веществ отмечаются при формировании полос озеленения продуваемой конструкции.

## Обсуждение

В соответствии с поставленной целью в задачи исследования входило изучение закономерностей формирования аэрационного режима и концентраций выбросов автомобильного транспорта в пешеходных зонах и общественных пространствах на магистральных участках УДС городов в границах линий застройки. Выбор объектов исследования для проведения натурных наблюдений ограничен магистральными улицами общегородского и районного значения с двух-, трёх-, пяти- и девятиэтажной застройкой и полосами древесно-кустарниковых насаждений продуваемой и плотной конструкции. При этом не рассматривали влияние геометрических и конструктивных параметров полос озеленения и этажности зданий на аэрационный режим и уровень загазованности внутриквартального пространства.

По характеру кривых 1–4 на рисунке (б и в) видно, что наиболее низкий уровень загазованности на поперечном сечении улиц соответствует участкам между полосами озеленения и линией застройки. Наиболее эффективными по газозащитным свойствам применительно к пешеходным зонам и общественным пространствам оказываются полосы зелёных насаждений с повышенной плотностью в нижнем ярусе и её уменьшением по высоте древостоя [16]. Вместе с тем в пределах полос древесно-кустарниковых насаждений плотной конструкции формируются более высокие концентрации компонентов ОГ по сравнению с вариантом поперечного профиля улицы без озеленения (см. кривые 5 на рисунке, б и в). В данном случае при прохождении воздушного потока через полосу озеленения его скорость резко снижается из-за рассеяния энергии в ветвях древесных растений и кустарников (см. кривые 2, 3, 4, 6 на рисунке, а). При этом полоса зелёных насаждений начинает играть роль накопителя загрязняющего вещества [17] и источника вторичного загрязнения [12] воздуха примесями, которые скапливаются в её пределах и дрейфуют с малой скоростью [18]. Поэтому при наполнении разделительных полос древесно-кустарниковой растительностью, выборе схем пешеходных путей и формировании в пределах тротуарной части городских улиц



Изменение скорости ветра (а) и содержания NO + NO<sub>2</sub> (б) и CO (в) в воздухе на высоте 1,5 м на улицах с пятиэтажной фронтальной застройкой (1–5) под воздействием четырёхрядной посадки деревьев с двухрядным кустарником.

Change in wind speed (a), NO + NO<sub>2</sub> (б), and CO (в) content in the air at the height of 1.5 m on streets with five-storey frontal building (1–5) under the influence of four-row planting of trees with two-row shrubbery.

общественных пространств необходимо обеспечивать их эффективное проветривание и снижение уровня атмосферного загрязнения. Для образования каналов аэрации и рассеяния вредных ингредиентов в посадках зелёных насаждений необходимо включение в их дендрологический состав деревьев с высоким штамбом в качестве основных пород, увеличение расстояния между рядами растений и исключение кустарников со стороны вхождения циркуляционных воздушных потоков во внутренние пространства объектов озеленения [12].

Из характера кривых на рисунке также следует, что на улицах с фронтальной застройкой изменение относительной высоты полос зелёных насаждений по отношению к высоте зданий обнаруживает эффект повышения газозащитной эффективности уличного озеленения. Если при равной высоте полосы озеленения  $h$  и зданий  $H$  отмечается максимальный уровень загрязнения воздуха NO + NO<sub>2</sub> и CO на пешеходных тротуарах (кривые 4 на рисунке, б и в), то при  $h = 0,3–0,7H$  наблюдается снижение концентрации этих ингредиентов

### Снижение полосами озеленения концентрации оксидов азота NO + NO<sub>2</sub> в воздухе пешеходных зон на городских улицах Reduction of NO + NO<sub>2</sub> nitrogen oxide concentrations in the air of pedestrian zones by landscaping strips on urban streets

Тип полосы Type of lane	Высота полосы, м Height of the strip, m	Ширина полосы, м Width of the strip, m	Ширина тротуарной части, м Pavement width, m	Этажность застройки Number of storeys of the building	Газозащитная эффективность $\omega$ , %*	
					при свободной застройке free building	при фронтальной застройке frontal building
Один ряд деревьев One row of trees	5	3–4	8–9	2–3	11–23	23–45
	8	11–12	2–3	5	12–25	20–40
Два ряда деревьев с однорядным кустарником Two rows of trees with a single row of shrubs	8	6–8	15–22	5	24–38	45–65
	15	6–8	15–22	9	26–42	40–60
Три-четыре ряда деревьев с двухрядным кустарником Three or four rows of trees with a two-row shrub	8	10–15	20–25	5	34–47	65–85
	15	10–15	25–30	9	37–51	55–75
Пять-шесть рядов деревьев с четырёхрядным кустарником Five or six rows of trees with four rows of shrubs	8	20–25	30–40	5	38–50	85–95
	15	20–25	35–45	9	42–55	70–90

Примечание. \* – за 100% принята концентрация NO + NO<sub>2</sub> на высоте 1,5 м у подветренного края проезжей части.

Note: \* 100% (NO + NO<sub>2</sub>) concentration is taken at the height of 1.5 m at the leeward edge of the roadway.

(кривые 1–3 на рисунке, б и в). Повышение загазованности пространства между полосой и зданием при равенстве их высот происходит из-за снижения в верхней части древостоя скорости воздушного потока, огибающего полосу сверху (кривая 4 на рисунке, а). Наименьшие концентрации компонентов ОГ в воздухе на тротуарах отмечаются при  $h = 0,5H$ , при этом скорость ветра изменяется в пределах 50–120% от скорости, фиксируемой перед полосой озеленения (кривые 2 на рисунке, б и в). Снижение концентрации  $\text{NO} + \text{NO}_2$  в воздухе у линии застройки полосами зелёных насаждений высотой  $h = 0,5H$ , в состав которых входят три-четыре и пять-шесть рядов деревьев с двухрядными кустарниками, достигает 85 и 95% соответственно (см. таблицу). Из этого следует, что для обеспечения достаточного воздухообмена и существенного разбавления примесей в пешеходных зонах и общественных пространствах, формируемых в пределах тротуарной части городских улиц, необходимо поддерживать конструктивными рубками [19] высоту древесных растений на уровне середины фасадов зданий [20]. Также необходимо ограничивать развитие крон деревьев в сторону основной проезжей части улиц и местных боковых проездов санитарными обрезками и стрижками.

Важно отметить, что снижение загазованности пространства между полосами озеленения и зданиями на улицах с фронтальной застройкой более выражено по сравнению со свободной планировкой у красной линии. Такая особенность наиболее выражена при пятиэтажной застройке улицы с полосой зелёных насаждений плотной непродуваемой конструкции. При трёх-, четырёхрядных полосах озеленения эта разница по содержанию оксидов азота  $\text{NO} + \text{NO}_2$  достигает 38%, а при пяти- и шестирядных – 45% (см. таблицу). Очевидно, на участках улиц с фронтальной застройкой повышение газозащитного эффекта полосами озеленения плотной конструкции обусловлено совместным влиянием зелёных насаждений и зданий на отклонение воздушного потока в верхний слой атмосферы, где рассеяние примесей происходит более эффективно.

При выборе конструкции полос озеленения для магистральных улиц с двусторонней плотной застройкой необходимо иметь в виду, что при поперечном ветре в уличном пространстве появляется вихревое движение воздушного потока, сдерживающее рассеяние примесей [20]. В этом случае основной вихревой поток переносит выбросы автомобилей с проезжей части к наветренной стороне улицы. Здесь они удерживаются небольшим вихрем, возникающим в углу между дном каньона и подветренной стеной наветренного здания [21]. Поэтому наиболее высокими оказываются концентрации загрязняющих веществ на уровне с первого по третий этаж зданий и реже – на высоте четвёртого этажа. Это подтверждается выборкой данных о заболеваемости населения одной из планировочных зон мегаполиса с трассированием магистральных улиц перпендикулярно к господствующему направлению ветра [22]. На уровне средних и верхних этажей происходит экспоненциальное снижение загазованности из-за увеличения скорости восходящего циркуляционного потока [21]. В данном случае для обеспечения необходимого воздухообмена и эффективного рассеяния загрязняющих веществ в тротуарной части и у нижних этажей зданий важно применять разнородности торцевой, точечной и свободной застройки улиц при ограниченном количестве многосекционных зданий.

Циркуляционное вихревое движение воздуха появляется также на участках городских дорог с полосами озеленения в виде стен, образующими узкие аллеи. В таких случаях происходит процесс накопления выбросов автотранспорта над автомобильной дорогой [23]. Для предупреждения высокого уровня загрязнения воздуха на полосах отвода автомобильных дорог и прилегающей территории токсичными компонентами выбросов автомобилей поперечному сечению придорожных полос озеленения необходимо придавать ступенчатую форму, легко обтекаемую ветром, с включением кустарников и деревьев с низким штамбом в ближайшие со

стороны проезжей части ряды [19]. В последующих рядах полос озеленения высота деревьев постепенно увеличивается.

В исторически сложившихся планировочных зонах городов с переуплотнённой фронтальной застройкой и ограниченной шириной тротуарной части улиц оптимальными вариантами объектов озеленения являются продуваемые линейно-полосные и групповые структуры, формируемые из высокоштамбовых деревьев. Здесь также ограничены возможности усиления аэрационного режима пешеходных зон путём разуплотнения застройки. В таких условиях гигиенические нормативы содержания токсичных веществ в воздухе улиц малой ширины могут быть достигнуты ограничением размеров движения автомобильного и главным образом грузового транспорта<sup>3</sup>. Также возможно устройство магистральных улиц районного значения или их участков, предназначенных только для пропуска средств общественного транспорта и пешеходного движения<sup>4</sup>.

Многообразие градостроительных решений, направленных на снижение загрязнения воздуха городских дорог и улиц, защиту пешеходных зон, общественных пространств и жилой застройки от сильных холодных ветров и обеспечение комфортного аэрационного режима жилых образований в условиях перегрева и высокой влажности воздуха, находит широкое применение в градостроительном проектировании [7, 8, 10, 24, 25]. Вместе с этим следует максимально использовать реализованные в существующей застройке жилых районов городов планировочные решения, обеспечивающие комфортный аэрационный режим и соблюдение гигиенических нормативов содержания токсичных веществ в атмосферном воздухе.

## Заключение

В пределах пешеходных зон и общественных пространств, формируемых на участках УДС городов и городских площадях, вместе с размещением объектов обслуживания и торговли, инженерным оборудованием и благоустройством необходимо обеспечить комфортный микроклимат для пользователей, снижение транспортного шума и загрязнения воздуха выбросами автомобильного транспорта.

При решении планировочных задач, связанных с охраной атмосферного воздуха от загрязнения выбросами автомобильного транспорта и мелиорацией микроклимата жилых районов в различных климатических областях, учитываются сезонные колебания климатообразующих факторов. Для защиты жилых территорий поселений от сильных ветров используют зелёные массивы, полосы озеленения плотной конструкции, замкнутые жилые группы с фронтальной застройкой. При низкой скорости ветра и штиле в целях сохранения аэрационного потенциала и максимального снижения концентраций токсичных ингредиентов в воздухе городских улиц их проезжая часть должна быть доступна воздушным потокам. Для этого уличное пространство раскрывается: используют точечную застройку и располагают многосекционные здания вдоль направления ветра с заполнением разрывов между ними группами древесно-кустарниковых насаждений и объектами культурно-бытового назначения. Также используют горно-долинную и бризовую циркуляцию воздушных масс по склонам местности.

Для защиты пешеходных зон и общественных пространств от негативного воздействия транспортных потоков находят применение древесно-кустарниковые насаждения. Наиболее эффективными по газозащитным свойствам на магистральных дорогах, не связанных с застройкой, являются полосы озеленения плотной непродуваемой конструкции. На участках магистральных улиц с фронтальной за-

<sup>3</sup> Рекомендации по модернизации транспортной системы городов. МДС 30–2.2008 / ЦНИИП градостроительства РААСН. М.: ОАО «ЦПП», 2008. 70 с.

<sup>4</sup> СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89\*.

стройкой максимальный эффект снижения загазованности зон пешеходного движения и общественных пространств отмечается при высоте древесных растений в полосах озеленения на уровне середины фасадов зданий.

Эффективное проветривание пешеходных зон и общественных пространств и наиболее высокое качество атмосферного воздуха на улицах малой ширины обеспечиваются формированием полос и групповых посадок деревьев

с открытым подкroновым пространством или увеличением доли разрывов между зданиями по линиям застройки. В исторически сложившихся планировочных зонах городов с переуплотнённой застройкой для снижения загрязнения воздуха необходима корректировка транспортной схемы путём вывода грузового транспорта на внеселитебные территории и устройства магистральных улиц для движения общественного транспорта и пешеходов.

## Литература

(п.п. 16, 18, 20, 21, 25 см. References)

1. Данилина Н.В., Теплова И.Д. «Устойчивая» улица – формирование общественных пространств на городских улицах. *Экология урбанизированных территорий*. 2018; (4): 74–80. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-14074> <https://elibrary.ru/uyfsyp>
2. Балакин В.В. Градостроительные мероприятия по регулированию аэрационного режима и снижению загрязнения атмосферного воздуха транспортных коммуникаций. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022; (2): 218–32. <https://elibrary.ru/qoygfl>
3. Балакин В.В. Закономерности формирования концентраций отработавших газов автомобильного транспорта в каньонах городских улиц. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2008; (9): 76–82. <https://elibrary.ru/kzhytt>
4. Балакин В.В., Алексиков С.В., Азаров В.Н. Обеспечение качества атмосферного воздуха на магистральных улицах и в жилой застройке средствами планировки и озеленения. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(7): 639–47. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-639-647> <https://elibrary.ru/xvdito>
5. Кандрор И.С., Демина Д.М., Ратнер Е.М. *Физиологические принципы санитарно-климатического районирования территории СССР*. М.: Медицина; 1974.
6. Пинигин М.А., Сидоренко В.Ф., Антюфеев А.В., Балакин В.В. Выбор градостроительных решений по снижению загрязнения атмосферного воздуха в жилых районах городами автомобильного транспорта. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(2): 92–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-92-98> <https://elibrary.ru/bgemu4>
7. Балакин В.В. Формирование аэрационного режима городских улиц приемами планировки жилой застройки. *Жилищное строительство*. 2015; (10): 43–6. <https://elibrary.ru/uyjswl>
8. Семашко К.И. *Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки*. М.: Стройиздат; 1986.
9. Мягков М.С. Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013; (32): 220–8. <https://elibrary.ru/rugttt>
10. Максимова В.А. Гигиеническая оценка планировочных средств защиты воздуха городов от загрязнения выбросами автотранспорта. *Гигиена и санитария*. 1971; 50(10): 11–3.
11. Чернышенко О.В. *Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города*: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.; 2001.
12. Городков А.В. *Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов Центральной России*: Автореф. дисс. ... д-ра сельскохозяйств. наук. СПб., Брянск; 2000.
13. Мамин Р.Г. *Эколого-экономические методы регулирования качества окружающей среды урбанизированных территорий*: Автореф. дисс... канд. экон. наук. М.; 2003.
14. Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Слесарев М.Ю., Антюфеев А.В. Формирование средозащитных объектов озеленения в градостроительных системах. *Вестник МГСУ*. 2019; 14(8): 1004–22. <https://elibrary.ru/ayeqxb>
15. Перегуд Е.А., Гернет Е.В. *Химический анализ воздуха промышленных предприятий: рекомендуемые методы определения предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе*. Ленинград: Химия; 1973.
17. Бояршинов М.Г. Влияние лесного массива на перенос и рассеивание автотранспортных выбросов. В кн.: *Сборник докладов международного экологического конгресса «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности»*. Том 2. СПб.; 2000: 235–7.
19. Городков А.В. *Рекомендации по проектированию средозащитного озеленения территорий городов*. СПб.; 1998.
22. Ванкевич Р.В. *Применение методов системного анализа и ГИС-технологий к построению количественных взаимосвязей в системе «автотранспорт – городская среда – здоровье»*: Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. СПб.; 2003.
23. Подольский В.П., Канишев А.Н., Рудаев В.Н. Определение ажурности в снегозадерживающих лесополосах. В кн.: *Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе: Доклады 5-й международной научно-технической конференции*. М.; 2001.
24. Никитин В.С., Максимкина Н.Г., Самсонов В.Т., Плотникова Л.В. *Проветривание промышленных площадок и прилегающих к ним территорий*. М.: Стройиздат; 1980.

## References

1. Danilina N.V., Teplova I.D. "Sustainable" street – formation public spaces on city streets. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2018; (4): 74–80. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-14074> <https://elibrary.ru/uyfsyp> (in Russian)
2. Balakin V.V. Urban planning measures for regulation aeration regime and pollution reduction atmospheric air transport communications. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2022; (2): 218–32. <https://elibrary.ru/qoygfl> (in Russian)
3. Balakin V.V. Regularities of the formation of automobiles' exhaust gases concentrations in the canyons of city streets. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2008; (9): 76–82. <https://elibrary.ru/kzhytt> (in Russian)
4. Balakin V.V., Aleksikov S.V., Azarov V.N. Ensuring the quality of atmospheric air on main streets and in residential buildings by means of planning and landscaping. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(7): 639–47. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-639-647> <https://elibrary.ru/xvdito> (in Russian)
5. Kandror I.S., Demina D.M., Ratner E.M. *Physiological Principles of Sanitary and Climatic Zoning on the USSR Territory [Fiziologicheskie printsipy sanitarno-klimaticheskogo raionirovaniya territorii SSSR]*. Moscow: Meditsina; 1974. (in Russian)
6. Piginin M.A., Sidorenko V.F., Antyufeyev A.V., Balakin V.V. Architectural choices aimed at reducing the air pollution by vehicle emissions in residential areas. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(2): 92–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-92-98> <https://elibrary.ru/bgemu4> (in Russian)
7. Balakin V.V. Formation of aeration regime of urban streets by methods of housing development planning. *Housing Construction*. 2015; (10): 43–6. <https://elibrary.ru/uyjswl> (in Russian)
8. Semashko K.I. *Guidelines for the Assessment and Regulation of the Wind Regime of Residential Development [Rukovodstvo po otsenke i regulirovaniyu vetrovogo rezhima zhiloi zastroyki]*. Moscow: Stroizdat; 1986. (in Russian)
9. Myagkov M.S. Example of modelling of microclimatic conditions for Volgograd. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013; (32): 220–8. <https://elibrary.ru/rugttt> (in Russian)
10. Maksimova V.A. Hygienic assessment of planning means of urban air protection from pollution by vehicle emissions. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1971; 50(10): 11–3. (in Russian)
11. Chernyshenko O.V. *Absorption capacity and gas tolerance of woody plants under urban conditions*: Diss. Moscow; 2001. (in Russian)
12. Gorodkov A.V. *Landscape-mediated landscaping and its impact on the ecological condition of large cities of Central Russia*: Diss. St. Petersburg, Bryansk; 2000. (in Russian)
13. Mamin R.G. *Ecological and economic methods of regulation of environmental quality of urbanized areas*: Diss. Moscow; 2003. (in Russian)
14. Balakin V.V., Sidorenko V.F., Slesarev M.Yu., Antyufeyev A.V. Formation of environmental protection landscaping facilities in urban ecological systems. *Vestnik MGSU*. 2019; 14(8): 1004–22. <https://elibrary.ru/ayeqxb> (in Russian)
15. Peregud E.A., Gernet E.V. *Chemical Analysis of the Air of Industrial Enterprises: Recommended Methods for Determining Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Air [Khimicheskii analiz vozdukh promyshlennykh predpriyatiy: rekomenduemye metody opredeleniya predel'no dopustimyykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vozdukhe]*. Leningrad: Khimiya; 1973. (in Russian)
16. Balakin V.V. Formation of linear-strip greening objects in urban environmental systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 451: 012166. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/451/1/012166> <https://elibrary.ru/qlztar>



17. Boyarshinov M.G. Influence of a forest massif on transportation and dispersion of motor transport emissions. In: *Reports of the International Ecological Congress «New in Ecology and Life Safety». Volume 2 [Novoe v ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: doklady Mezhdunarodnogo ekologicheskogo kongressa. Volume 2]*. St. Petersburg; 2000: 235–7. (in Russian)
18. Nielsen N. Turbulent ventilation of a street canyon. *Environ. Monit. Assess.* 2000; 65(1–2): 389–96. <https://doi.org/10.1023/A:1006416909682>
19. Gorodkov A.V. *Recommendations for the Design of Environmental Protection Landscaping of Urban Areas [Rekomendatsii po proektirovaniyu sredozashchitnogo ozeleneniya territorii gorodov]*. St. Petersburg; 1998. (in Russian)
20. Addison P.S., Currie J.I., Low D.J., McCann J.M. An integrated approach to street canyon pollution modeling. *Environ. Monit. Assess.* 2000; 65(1–2): 333–42. <https://elibrary.ru/akfkcr>
21. Chan T.L., Dong G., Leung C.W., Cheung C.S., Hung W.T. Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon. *Atmos. Environ.* 2002; 36(5): 861–72. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00490-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00490-3)
22. Vankevich R.V. *Application of methods of system analysis and GIS technologies to the construction of quantitative relationships in the system «motor transport – urban environment – health»*: Diss. St. Petersburg; 2003. (in Russian)
23. Podolskii V.P., Kanishchev A.N., Rudaev V.N. Determination of tracery in snow-retaining forest belts. In: *Solving Environmental Problems in the Automotive Industry: Reports of the 5<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference [Reshenie ekologicheskikh problem v avtotransportnom komplekse: doklady 5 mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii]*. Moscow; 2001. (in Russian)
24. Nikitin V.S., Maksimkina N.G., Samsonov V.T., Plotnikova L.V. *Ventilation of Industrial Sites and Adjacent Territories [Provetrivanie promyshlennykh ploshchadok i prilgayushchikh k nim territorii]*. Moscow: Stroyizdat; 1980. (in Russian)
25. Balakin V.V. Air quality upgrading in residential areas using architectural methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1079: 052039. <https://elibrary.ru/ddnlnf>

## Сведения об авторах

**Балакин Владимир Васильевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений ИАиС, ВолгГТУ, 400074, Волгоград, Россия. E-mail: [balakin-iais@yandex.ru](mailto:balakin-iais@yandex.ru)

**Алексиков Сергей Васильевич**, доктор техн. наук, профессор, зав. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ИАиС, ВолгГТУ, 400074, Волгоград, Россия. E-mail: [al34rus@mail.ru](mailto:al34rus@mail.ru)

**Чеснокова Оксана Геннадьевна**, доцент, доцент каф. архитектуры зданий и сооружений, ИАиС, ВолгГТУ, 400074, Волгоград, Россия. E-mail: [oxxxana72@yandex.ru](mailto:oxxxana72@yandex.ru)

## Information about the authors

**Vladimir V. Balakin**, PhD (Engineering), docent, Associate Professor of the Department of Construction and Operation of Transport Facilities, Institute of Architecture and Building, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400074, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7303-1372> E-mail: [balakin-iais@yandex.ru](mailto:balakin-iais@yandex.ru)

**Sergei V. Aleksikov**, DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Construction and Operation of Transport Facilities, Institute of Architecture and Building, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400074, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9017-8739> E-mail: [al34rus@mail.ru](mailto:al34rus@mail.ru)

**Oksana G. Chesnokova**, docent, Associate Professor of the Department of Architecture of Buildings and Structures, Institute of Architecture and Building, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400074, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8490-7798> E-mail: [oxxxana72@yandex.ru](mailto:oxxxana72@yandex.ru)