

EDN: <https://elibrary.ru/psjlon>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-664-669>

УДК 613.155

© Коллектив авторов, 2022

Мартынов Д.Ю.¹, Никанов А.Н.², Кизеев А.Н.², Кульнев В.В.³, Насонов А.Н.⁴, Лагутина Н.В.¹, Цветков И.В.⁵, Кульнева Е.М.⁶, Межова Л.А.⁷, Луговской А.М.⁴, Новиков А.В.⁸**Расчётное моделирование уровня загрязнения воздуха внутри помещения при его очистке с помощью воздухоочистителей**¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434;²ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская ул., 4, Санкт-Петербург, 191036;³Центрально-Чернозёмное межрегиональное управление Росприроднадзора, ул. Ломоносова, 105, Воронеж, 394087;⁴ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Гороховский пер., 4, Москва, 105064;⁵ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», ул. Желябова, 33, Тверь, 170100;⁶ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Университетская пл., 1, Воронеж, 394018;⁷ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», ул. Ленина, 86, Воронеж, 394043;⁸ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет», ул. Вильгельма Пика, 4/1, Москва, 129226

Предложен расчётный метод определения концентраций загрязняющих веществ внутри вентилируемого или очищаемого помещения, с учётом начальных условий и параметров расхода поступающего или очищаемого воздуха, объёма помещения, начальных концентраций загрязняющего вещества в атмосферном воздухе и в воздухе помещения, параметров эффективности работы воздухоочистителя.

Предложено решение двух массообменных уравнений при известных начальных условиях для двух способов очистки помещений. При решении первого уравнения, проведён прямой массообменный расчёт, позволяющий определить влияние естественной или искусственной вентиляции, используемой внутри помещений с небольшими линейными размерами, на изменение концентрации выбранного загрязняющего воздуха вещества в виде химического соединения или аэрозоля, содержащего биологические или химические загрязнители. При решении второго уравнения, проведён прямой массообменный расчёт, позволяющий определить влияние работы воздухоочистителя, используемого внутри помещений с небольшими линейными размерами, на изменение концентрации выбранного загрязняющего воздуха вещества, в виде химического соединения или аэрозоля, содержащего биологические или химические загрязнители.

Расчёты позволяют определить время, за которое жилое, офисное или промышленное помещение насыщается загрязняющими веществами или очищается до требуемых нормативов качества воздушной среды, с учётом влияния таких факторов, как загрязнение приземных слоёв атмосферного воздуха, появление загрязняющих веществ внутри помещения, производительность и эффективность систем вентиляции или очистки воздуха. Предложенные расчётные методы могут быть использованы при определении изменений качества воздушной среды внутри помещений с течением времени, в том числе с учётом изменений концентраций кислорода и загрязняющих веществ внутри помещений, определения эффективности применения систем вентиляции и очистки воздуха различной производительности в жилых, офисных, медицинских и производственных помещениях.

Этика. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Ключевые слова: вентиляция помещения; воздухоочиститель; загрязнение воздуха; концентрация загрязняющих веществ; массообменный расчёт

Для цитирования: Мартынов Д.Ю., Никанов А.Н., Кизеев А.Н., Кульнев В.В., Насонов А.Н., Лагутина Н.В., Цветков И.В., Кульнева Е.М., Межова Л.А., Луговской А.М., Новиков А.В. Расчётное моделирование уровня загрязнения воздуха внутри помещения при его очистке с помощью воздухоочистителей. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(10): 664–669. <https://elibrary.ru/psjlon> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-664-669>

Для корреспонденции: Кизеев Алексей Николаевич, старший научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, канд. биол. наук. E-mail: aleksei.kizeev@mail.ru

Участие авторов:

Мартынов Д.Ю. — концепция и дизайн исследования, написание текста;

Никанов А.Н. — редактирование;

Кизеев А.Н. — редактирование;

Кульнев В.В. — концепция и дизайн исследования;

Насонов А.Н. — сбор и обработка данных;

Лагутина Н.В. — сбор и обработка данных;

Цветков И.В. — сбор и обработка данных;

Кульнева Е.М. — сбор и обработка данных;

Межова Л.А. — написание текста;

Луговской А.М. — написание текста;

Новиков А.В. — сбор и обработка данных.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 07.07.2022 / Дата принятия к печати: 12.09.2022 / Дата публикации: 25.11.2022

Dmitrii Yu. Martynov¹, Aleksandr N. Nikanov², Aleksei N. Kizeev², Vadim V. Kulnev³, Andrei N. Nasonov⁴, Natalia V. Lagutina¹, Ilia V. Tsvetkov⁵, Elena M. Kulneva⁶, Lidia A. Mezhova⁷, Aleksandr M. Lugovskoy⁴, Aleksandr V. Novikov⁸

Calculate modeling of the level of indoor air pollution during its cleaning with air purifiers

¹Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named K.A. Timiryazev», 49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434;

²Northwest Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya St., Saint Petersburg, 191036;

³Central Black Earth Interregional Office of the Federal Service for Supervision of Natural Resources Management, 105, Lomonosov St., Voronezh, 394087;

⁴Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Ln., Moscow, 105064;

⁵Tver State University, 33, Zhelyabova St., Tver, 170100;

⁶Voronezh State University, 1, University Sq., Voronezh, 394018;

⁷Voronezh State Pedagogical University, 86, Lenin St., Voronezh, 394043;

⁸Russian State Social University, 4, p. 1, Wilhelm Peak St., Moscow, 129226

The article proposes a computational method for determining the concentrations of pollutants inside a ventilated or cleaned room, taking into account the initial conditions and parameters of the flow rate, incoming or purified air, the volume of the room, the initial concentrations of the pollutant in the atmospheric air and in the room air, the parameters of the efficiency of the air cleaner.

The article proposes the solution of two mass transfer equations under known initial conditions for two methods of cleaning rooms. When solving the first equation, a direct mass transfer calculation was carried out, which makes it possible to determine the effect of natural or artificial ventilation used indoors with small linear dimensions on the change in the concentration of the selected air polluting substance in the form of a chemical compound or an aerosol containing biological or chemical pollutants. When solving the second equation, a direct mass transfer calculation was carried out, which makes it possible to determine the effect of the operation of an air purifier used indoors with small linear dimensions on the change in the concentration of the selected air polluting substance in the form of a chemical compound or an aerosol containing biological or chemical pollutants.

Calculations allow us to determine the time during which a residential office or industrial space is saturated with pollutants or cleaned to the required air quality standards, taking into account the influence of factors such as pollution of the surface layers of atmospheric air, the appearance of pollutants inside the room, the performance and efficiency of ventilation or air purification systems. The proposed calculation methods can be used to determine changes in the quality of indoor air over time, including taking into account changes in oxygen concentrations and pollutants indoors, determining the effectiveness of ventilation and air purification systems of various capacities in residential, office, medical and industrial premises.

Ethics. The study does not require the submission of a biomedical ethics committee opinion or other documents.

Keywords: room ventilation; air purifier; air pollution; concentration of pollutants; mass exchange calculation

For citation: Martynov D.Yu., Nikanov A.N., Kizeev A.N., Kulnev V.V., Nasonov A.N., Lagutina N.V., Tsvetkov I.V., Kulneva E.M., Mezhova L.A., Lugovskoy A.M., Novikov A.V. Calculate modeling of the level of indoor air pollution during its cleaning with air purifiers. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(1): 664–669. <https://elibrary.ru/psjlon> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-664-669> (in Russian)

For correspondence: Aleksei N. Kizeev, Senior Researcher, Northwest Public Health Research Center of Rospotrebnadzor, Candidate of Biology. E-mail: aleksei.kizeev@mail.ru

Information about the authors: Martynov D.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-8279-5569>

Nikanov A.N. <https://orcid.org/0000-0003-3335-4721>

Kizeev A.N. <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>

Kulnev V.V. <https://orcid.org/0000-0002-1646-9183>

Nasonov A.N. <https://orcid.org/0000-0002-4927-2192>

Lagutina N.V. <https://orcid.org/0000-0003-1066-2211>

Tsvetkov I.V. <https://orcid.org/0000-0002-5284-880X>

Kulneva E.M. <https://orcid.org/0000-0001-6433-8754>

Mezhova L.A. <https://orcid.org/0000-0003-1902-948X>

Lugovskoy A.M. <https://orcid.org/0000-0002-3985-4535>

Novikov A.V. <https://orcid.org/0000-0003-1521-1102>

Contribution:

Martynov D.Yu. — research concept and design, text writing;

Nikanov A.N. — editing;

Kizeev A.N. — editing;

Kulnev V.V. — research concept and design;

Nasonov A.N. — data collection and processing;

Lagutina N.V. — data collection and processing;

Tsvetkov I.V. — data collection and processing;

Kulneva E.M. — data collection and processing;

Mezhova L.A. — text writing;

Lugovskoy A.M. — text writing;

Novikov A.V. — data collection and processing.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 07.07.2022 / Accepted: 12.09.2022 / Published: 25.11.2022

Введение. Сверхнормативное содержание вредных газов, паров и пыли в воздухе жилых и рабочих помещений наносит непоправимый вред находящимся внутри помещения людям, уменьшает продолжительность их жизни, вызывает воспаление дыхательных путей и глаз, аллергические реакции кожи, злокачественные и иные заболевания [1]. При этом вредные газы, пары и пыль могут поступать в помещение из загрязнённого атмосферного воздуха, а также вырабатываться в результате различных физико-химических процессов внутри помещения. Так, в 89% городов России отмечается превышение санитарно-гигиенических нормативов загрязнения атмосферного воздуха, в 139 городах с общей численностью населения более 52 миллионов человек средняя за год концентрация одного или нескольких загрязняющих веществ в воздухе кратно превышает ПДК [2, 6–9].

Внутри помещения также могут присутствовать загрязнители, выделяемые из лакокрасочных покрытий стен, мебели и дверей, некачественной теплоизоляции, работающих бытовых приборов, такие как формальдегид, фенол, бензол, толуол, этилбензол, метиловый спирт, угарный газ, озон и другие. Также установлено, что в результате использования оконных блоков с повышенным теплосоппротивлением и качественных утеплителей в конструкциях зданий происходит ухудшение работы естественной вентиляции, которая не обеспечивает достаточной подачи наружного воздуха в помещения жилых зданий [2–5].

В этой связи требования, связанные с обеспечением комфортного и безопасного нахождения людей внутри промышленных, общественных и жилых зданий обобщаются целым рядом нормативных документов, таких как межгосударственные стандарты, строительные нормы и правила, гигиенические нормативы и др. Существуют многочисленные методы и способы достижения вышеуказанных требований, с использованием естественной и искусственной вентиляции помещений, воздухоочистителей с установленными НЕРА-фильтрами, электростатическими, плазменными, химическими и угольными фильтрами, гидрофильтрами, фотокатализаторами, озонаторами и другими фильтрами, очищающими воздух. Практическому применению данных способов и систем препятствует отсутствие расчётных методов, позволяющих за локальный промежуток времени в 2–200 минут, определять изменение концентрации химических и биологических загрязняющих веществ в воздухе помещения.

Цель исследования — повышение эффективности определения уровня загрязнения воздуха в закрытых помещениях при вентиляции и при функционировании воздухоочистителей.

Материалы и методы. Наличие расчётных методов, позволяющих с небольшой погрешностью прогнозировать изменение концентрации каждого отдельного химического и биологического компонента воздуха внутри помещения, позволит подобрать наиболее простые и мало затратные способы очистки воздуха, избежать избыточных затрат, правильно определить мощность воздухоочистителя и компоновку специализированных фильтров внутри воздухоочистителя.

В этой связи проведём прямой массообменный расчёт для отдельного загрязняющего воздух вещества (химического соединения или аэрозоля в виде биологического или химического загрязнителя). Введём упрощение, связанное с небольшими линейными размерами помещения и быстрым выравниванием концентрации загрязняющего

воздух вещества внутри помещения в результате массообмена и диффузии. Массообменный расчёт разобьём на две части, изменение концентрации загрязняющего воздух вещества при естественной и искусственной вентиляции помещения и изменение концентрации загрязняющего воздух вещества при использовании воздухоочистителя.

Изменение концентрации загрязняющего воздух вещества при естественной и искусственной вентиляции помещения может быть рассчитано следующим образом. Для расчёта введём показатель суммарной массы загрязнений аэрозоли или химического соединения (X) в воздухе комнаты, зависящий от времени, $a(t)$. Откуда значение средней концентрации загрязняющего воздух вещества C_t в воздухе помещения рассчитывается по формуле:

$$C_t(X) = \frac{a(t)}{V} \quad (1)$$

где: $a(t)$ — суммарная масса загрязнений химического элемента (X) в воздухе помещения, мг; V — объём помещения, м³.

Считаем, что концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе за пределами помещения на период расчёта остаётся постоянной C_{BX} , а вынужденная или естественная вентиляция сопровождается отводом из помещения воздуха с объёмным расходом Q и подачей из атмосферы вне помещения воздушной массы с таким же расходом Q . Тогда для расчета суммарной массы загрязняющего воздух вещества (X) справедлива следующая формула:

$$a(T) = a_0 - \int_0^T C_t(X) \times Q \times dt + \int_0^T C_{BX} \times Q \times dt \quad (2)$$

где: Q — расход воздуха, выходящего из помещения, м³/с; V — объём помещения, м³; C_{BX} — концентрация загрязняющего вещества во входящем потоке воздуха, мг/м³; a_0 — первоначальная суммарная масса загрязнений химического элемента (X) в воздухе помещения, мг; T — общее время вентиляции помещения, с; t — переменная, определяющая интегрирование по времени от 0 до T .

В формуле (2) величина $\int_0^T C_t(X) \times Q \times dt$ — определяет массу загрязняющего вещества в потоке отводимого воздуха, покинувшего помещение и попавшего в атмосферу за время T , а величина $\int_0^T C_{BX} \times Q \times dt$ — определяет массу загрязняющего вещества, поступившего в помещение в потоке воздуха из атмосферы за время T . С учётом (1) формула (2) может быть преобразована в уравнение:

$$a(T) = a_0 - \int_0^T \frac{a(t)}{V} \times Q \times dt + \int_0^T C_{BX} \times Q \times dt \quad (3)$$

Решаем уравнение (3) методом подстановки, с использованием следующей зависимости:

$$a(t) = \gamma \times e^{at} + \beta \quad (4)$$

где: e — число Эйлера (2,718.); γ , a , β — константы, определяемые при решении уравнения (3).

После подстановки (4) в уравнение (3), с учётом упрощения о постоянстве C_{BX} получаем соотношение:

$$\gamma \times e^{at} + \beta = a_0 - \frac{\gamma \times Q}{a \times V} \times e^{at} + \frac{\gamma \times Q}{a \times V} - \frac{\beta \times Q}{V} \times T + C_{BX} \times Q \times T \quad (5)$$

Выражение (5) с учётом различных параметрических зависимостей от конечного времени T и констант может быть разбито на отдельные составные уравнения:

$$\gamma \times e^{at} = \frac{-\gamma \times Q}{a \times V} \times e^{at}; \quad (6)$$

$$\beta = a_0 + \frac{\gamma \times Q}{a \times V} - \frac{\beta \times Q}{V} \times T + C_{BX} \times Q \times T$$

Из уравнений (6) получаем следующие решения:

$$a = \frac{-Q}{V} \quad (7)$$

$$\beta = C_{BX} \times V \quad (8)$$

$$\gamma = a_0 - C_{BX} \times V \quad (9)$$

Подставив константы (7), (8), (9) в выражение (4) получим суммарную массу загрязнений химического элемента (X) в воздухе помещения в момент конечного времени T :

$$a(T) = (a_0 - C_{BX} \times V) \times e^{\left(\frac{-Q}{V}T\right)} + C_{BX} \times V \quad (10)$$

С учётом (1) выражение (10) значение средней концентрации загрязняющего воздуха вещества $C_t(X)$ в воздухе помещения может быть определено как:

$$C_t(X) = \left(\frac{a_0}{V} - C_{BX}\right) \times e^{\left(\frac{-Q}{V}T\right)} + C_{BX} \quad (11)$$

или:

$$C_t(X) = (C_0 - C_{BX}) \times e^{\left(\frac{-Q}{V}T\right)} + C_{BX} \quad (12)$$

$$C_0 = \frac{a_0}{V} \quad (13)$$

где: C_0 — начальная концентрация загрязняющего вещества в воздухе помещения, мг/м³.

Таким образом, зная такие параметры как: концентрация загрязняющего вещества во входящем потоке воздуха, начальная концентрация загрязняющего вещества в воздухе помещения, расход воздуха, и объём помещения, по формуле (12) можно определить, как будет меняться концентрация загрязняющего вещества в зависимости от времени естественной или искусственной вентиляции помещения.

На втором этапе найдём формулу, позволяющую при усреднённых начальных данных с небольшой погрешностью определять изменение концентрации загрязнителя в помещении, внутри которого функционирует воздухоочиститель. Для определения эффективности работы воздухоочистителя используем значение средней концентрации загрязняющего вещества в воздухе помещения $C_{ППОМ}(X)$. Эффективность работы воздухоочистителя выразим через коэффициент очистки k , как отношение массовой доли загрязняющего вещества, задерживаемой на фильтрах воздухоочистителя ко всей массе загрязняющего вещества, проходящего через воздухоочиститель при номинальном расходе воздуха. Коэффициент очистки меняется от 0 до 1, и при $k=1$ вся масса загрязняющего вещества задерживается воздухоочистителем, а при $k=0$, проходит через воздухоочиститель, не задерживаясь на фильтрах.

Сделаем небольшое упрощение, считая, что в течение нескольких часов работы воздухоочистителя, качество

очистки сильно не меняется и k остаётся постоянной величиной. Для расчёта введём показатель суммарной массы загрязняющего вещества, аэрозоли или химического соединения (X) в воздухе помещения, зависящий от времени, $a(t)$. Соответственно, по аналогии с формулой (1) значение средней концентрации загрязняющего вещества $C_{ППОМ}(X)$ в воздухе помещения, определяется как:

$$C_{ППОМ}(X) = \frac{a(t)}{V} \quad (14)$$

где: V — объём помещения, м³; C_{BX} — концентрация загрязняющего вещества $C_{ППОМ}(X)$ в воздухе помещения, мг/м³.

Тогда массу $m_t(X)$ загрязняющего вещества (X), задерживаемую воздухоочистителем за единицу времени, в момент времени t , можно рассчитать на основе следующего выражения:

$$m_t(X) = C_{ППОМ}(X) \times Q_{ВОЗ} \times k \quad (15)$$

где: $m_t(X)$ — масса загрязняющего вещества, задерживаемая воздухоочистителем в единицу времени, мг/с; $Q_{ВОЗ}$ — расход воздуха, проходящего через воздухоочиститель, м³/с; k — безразмерный коэффициент очистки, определяющий эффективность работы воздухоочистителя при очистке воздуха от выбранного загрязняющего вещества (X).

Тогда для расчёта суммарной массы загрязнений загрязняющего вещества (X) в воздухе помещения в момент времени T справедлива следующая формула:

$$a(T) = a_0 - \int_0^T m_t(X) \times dt \quad (16)$$

где: a_0 — первоначальная суммарная масса загрязнений химического элемента (X) в воздухе помещения, мг; T — общее время очистки помещения, с; t — переменная, определяющая интегрирование по времени от 0 до T . Здесь выражение $\int_0^T m_t(X) \times dt$ определяет массу вещества, задержанную воздухоочистителем за время T .

С учётом (13) и (14) формула (15) может быть преобразована в уравнение:

$$a(T) = a_0 - \int_0^T \frac{a(t)}{V} \times Q_{ВОЗ} \times k \times dt \quad (17)$$

Уравнение (16) решается методом подстановки, с использованием следующей зависимости:

$$a(T) = \varepsilon \times e^{\tau t} \quad (18)$$

где: e — число Эйлера (2,718.); ε , τ — константы, определяемые при решении уравнения (16). После постановки (17) в (16) и интегрирования может быть получено следующее уравнение:

$$\varepsilon \times e^{\tau t} = a_0 - \frac{\varepsilon \times e^{\tau t}}{V \times \tau} \times Q_{ВОЗ} \times k + \frac{\varepsilon}{V \times \tau} \times Q_{ВОЗ} \times k \quad (19)$$

Выражение (18) имеет следующие решения для констант " ε " и " τ ":

$$\tau = \frac{-Q_{ВОЗ} \times k}{V} \quad (20)$$

$$\varepsilon = \frac{-a_0 \times \tau \times V}{Q_{ВОЗ} \times k} \quad (21)$$

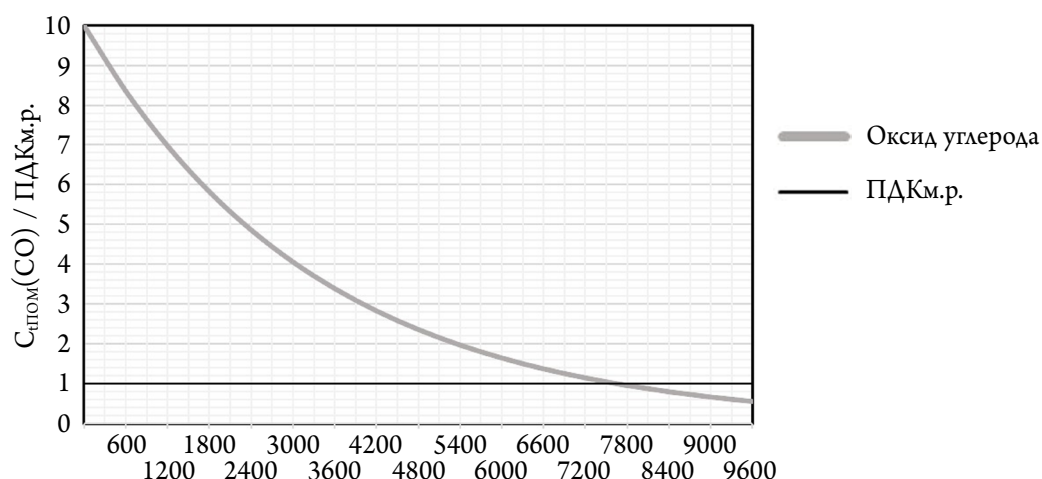


Рисунок. Расчёт изменения соотношения средней концентрации оксида углерода к ПДК_{м.р.} в помещении (объем 60 м³) при очистке воздуха с помощью воздухоочистителя ($k=0,6$; $Q_{\text{воз}}=0,03 \text{ м}^3/\text{с}$)

Figure. Calculation of the change in the ratio of the average concentration of carbon monoxide to the MPC in the room (volume 60 m³) during air purification using an air purifier ($k=0.6$; $Q_{\text{voz}}=0.03 \text{ m}^3/\text{s}$)

С учётом (15) и (20), выражение (17) может быть преобразовано в формулу суммарной массы загрязняющего вещества (X) в воздухе помещения:

$$a(T) = a_0 \times e^{\left(\frac{Q_{\text{воз}} \times k}{V} T\right)} \quad (22)$$

Формула (21) с учётом (13) преобразуется в:

$$C_{\text{ипом}}(X) = C_{\text{опом}}(X) \times e^{\left(\frac{Q_{\text{воз}} \times k}{V} T\right)} \quad (23)$$

$$C_{\text{ипом}}(X) = \frac{a_0}{V} \quad (24)$$

где: $C_{\text{опом}}(X)$ — начальная концентрация загрязняющего вещества в воздухе помещения, мг/м³.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим такую задачу: помещение, в результате технических работ, было насыщено оксидом углерода, с концентрацией десятикратно превышающим ПДК_{м.р.} (ПДК_{м.р.}=5 мг/м³). Для очистки помещения используется воздухоочиститель, который улавливает 60% оксида углерода ($k=0,6$), определяем за какое время концентрация оксида углерода уменьшится до ПДК_{м.р.}. Проведём расчёт по формуле (12) для внутреннего объёма помещения, $V=60 \text{ м}^3$, и расчётного расхода воздуха, проходящего через воздухоочиститель, $Q_{\text{воз}}=0,015 \text{ м}^3/\text{с}$. Результаты представлены на **рисунке**.

График, представленный на рисунке, позволяет определить время, за которое помещение очищается от оксида

углерода до нормативных значений ниже ПДК_{м.р.} При заданной эффективности работы воздухоочистителя время очистки помещения T превышает 130 минут.

Ограничения исследования. В качестве ограничения предложенного метода при определении расчётных уровней концентраций загрязняющих веществ в воздухе внутри помещения могут быть отмечены вытянутые в длину на несколько десятков метров и очень высокие помещения, с одним воздуховодом или системой воздухоочистки, в которых перемешивание подаваемого воздуха и выравнивание концентраций загрязняющих веществ по всему объёму помещения происходит достаточно медленно, за полчаса и более.

Заключение. Для вентилируемого или очищаемого помещения, с учётом начальных условий и параметров, определяющих средние по продолжительности временные периоды (не более нескольких часов), расхода, поступающего или очищаемого воздуха, объёма помещения, начальных концентраций загрязняющего вещества в атмосферном воздухе и в воздухе помещения, параметров эффективности работы воздухоочистителя, проведены массообменные расчёты, определяющие изменение концентрации отдельных загрязняющих веществ в воздухе помещения. Получены формулы, определяющие значение средней концентрации загрязняющего вещества в воздухе помещения, при естественной и искусственной вентиляции помещения, и работе воздухоочистителя, расположенного внутри помещения.

Список литературы

1. Горбанев С.А., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Носков С.Н., Карелин А.О., Выучейская Д.С., Копытенкова О.И., Бадаева Е.А. Об обосновании предложений по изменениям и дополнениям санитарно-эпидемиологических требований к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(7): 707–12. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-707-712>
2. *Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017 год. Ежегодник*. СПб: ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». 2018; 234.
3. Еремин Г.Б., Мозжухина Н.А., Павлова А.Е. Санитарно-эпидемиологические требования к воздуху закрытых помещений: вчера, сегодня, завтра. В кн.: «Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения». СПб.; 2018. 13(2): 892–903.
4. Иванова Е.И., Кирьянова М.Н. Проблема обеспечения качества воздуха в жилых помещениях. В кн.: «Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения». СПб.; 2018. 13(2): 796–803.
5. Иванова Е.И., Маркова О.А., Кирьянова М.Н. Особенности формирования воздушной среды в современных жилых зданиях. *Здоровье населения и среда обитания*. 2019; 10(319): 50–3. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-319-10-50-53>

6. Суржиков В.Д., Суржиков Д.В., Голиков Р.А. Загрязнение атмосферного воздуха промышленного города как фактор не канцерогенного риска для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(1): 47–9.
7. Braubach M., Heroux M.E., Korol N., Paunovic E., Zastenskaya I. Значение жилищных условий и городской среды для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(1): 9–15.
8. Hagenbjork-Gustaffson A., Forsberg B., Hestvik G., Karlsson D., Wahlberg S., Sandstrom T. Measurements of Indoor and Outdoor Nitrogen Dioxide Concentrations Using a Diffusive Sampler. *Analyst*. 1996; 121: 1261–1264.
9. Hellgren U.-M., Reijula K. Indoor-air-related complaints and symptoms among hospital workers. *SJWEH Supplements*. 2006; 2: 47–49.

References

1. Gorbanev S.A., Mozzhukhina N.A., Yeregin Gennady B., Noskov S.N., Karelin A.O., Vyucheyanskaya D.S., Kopytenkova O.I., Badaeva E.A. On proposals for alterations and additions to sanitary-epidemiological requirements to living conditions in residential buildings and premises. *Gigiena i sanitaria*. 2019; 98(7): 707–712 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-707-712>
2. *The state of air pollution in cities in Russia in 2017. Yearbook*. Sankt-Peterburg: FGBU «Glavnaja geofizicheskaja observatorija im. A.I. Voejkova». 2018; 234 (in Russian).
3. Eremin G.B., Mozzhukhina N.A., Pavlova A.E. Sanitary and epidemiological requirements for indoor air: yesterday, today, tomorrow. In: *"Zdorov'e — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ih resheniya"*. Sankt-Peterburg; 2018; 13(2): 892–903 (in Russian).
4. Ivanova E.I., Kir'yanova M.N. The problem of ensuring air quality in residential premises. In: *"Zdorov'e — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ih resheniya"*. Sankt-Peterburg; 2018; 13(2): 796–803 (in Russian).
5. Ivanova E.V., Markova O.L., Kir'yanova M.N. Peculiarities of air environment formation in modern residential buildings. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2019; 10(319): 50–53 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-319-10-50-53>
6. Surzhikov V.D., Surzhikov D.V., Golikov R.A. Air pollution in an industrial city as a factor of non-carcinogenic risk to public health. *Gigiena i sanitariya*. 2013; 92(1): 47–49 (in Russian).
7. Braubach M., Heroux M.E., Korol N., Paunovic E., Zastenskaya I. The importance of housing and urban environments for health. *Gigiena i sanitariya*. 2014; 93(1): 9–15 (in Russian).
8. Hagenbjork-Gustaffson A., Forsberg B., Hestvik G., Karlsson D., Wahlberg S., Sandstrom T. Measurements of Indoor and Outdoor Nitrogen Dioxide Concentrations Using a Diffusive Sampler. *Analyst*. 1996; 121: 1261–1264.
9. Hellgren U.-M., Reijula K. Indoor-air-related complaints and symptoms among hospital workers. *SJWEH Supplements*. 2006; 2: 47–49.