

ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-7-451-458>

УДК 613.6.02

© Коллектив авторов, 2021

Копытенкова О.И.^{1,3}, Сачкова О.С.², Леванчук Л.А.³

Сравнительный анализ физических методов обеззараживания транспорта

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская ул., 4, Санкт-Петербург, Россия, 191036;²ФБУН «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» Роспотребнадзора, Пакгаузное шоссе, 1/1, Москва, Россия, 125438;³ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Московский пр-т, 9, Санкт-Петербург, Россия, 190031

Транспорт является объектом массового сосредоточения людей, где работающие и пассажиры с высокой долей вероятности подвергаются воздействию возбудителей инфекционных заболеваний. Болезни, недостаточно эффективно поддающиеся воздействию средств специфической профилактики, грипп и острые респираторные вирусные инфекции составляют 95%. В настоящее время меры по сдерживанию инфекции привели к ограничению транспортной активности. В таких условиях разработка эффективных способов предупреждения возникновения и распространения инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём, не управляемых средствами специфической профилактики, а также сохранение здоровья работников транспортной отрасли являются особенно актуальными задачами. Цель исследования — определение места расположения и вида обеззараживающего устройства воздуха в кабине водителя железнодорожного транспортного средства и пассажирском салоне сидячего вагона при различных вариантах дыхания (естественный выдох, кашель, чихание).

Для определения места и мощности установки для обеззараживания использован математический метод газодинамических расчётов с использованием твердотельных трёхмерных моделей. Исследование выполнено в программном комплексе *SolidWorks*, использован модуль *FlowSimulation* для решения системы нелинейных уравнений Навье–Стокса. Траектории потоков воздуха от дыхания человека в кабине транспортного средства рассчитаны с учётом влияния вентиляции. Исследование эффективности обеззараживания проведено аттестованной лабораторией в условиях эксплуатации транспортного средства.

Результаты расчёта позволили установить, что приборы для физического обеззараживания воздуха в кабине транспортного средства целесообразно расположить на уровне информационной панели с левой стороны или непосредственно по центру. Основанием для выбора технических характеристик прибора для обеззараживания воздуха должны служить сведения о максимальной скорости частиц, поступающих к информационной панели, которая составляет 2,2–3 м/с. Наиболее безопасным физическим методом дезинфекции воздушной среды транспортных средств является применение закрытых установок ультрафиолетового (УФ) излучения, эффективность которого подтверждена в процессе натурного эксперимента.

Сделано заключение, что формирование зоны заражения при нахождении инфицированного человека в кабине или салоне транспортного средства в значительной степени зависит от продолжительности его нахождения в салоне, интенсивности дыхания и использования им средств индивидуальной защиты. Преимуществом закрытых установок УФ-излучения является одновременное обеспечение высокой эффективности дезинфекции и удовлетворение всем требованиям безопасности (химической, экологической, пожарной, электрической), а также возможности использования метода в присутствии людей. Анализ нормативно-технической документации показал, что УФ-облучатели — единственный на сегодняшний день тип дезинфекционного оборудования, удовлетворяющий требованиям отечественного законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия.

Ключевые слова: транспорт; методы обеззараживания воздух; технологии обеззараживания воздуха

Для цитирования: Копытенкова О.И., Сачкова О.С., Леванчук Л.А. Сравнительный анализ методов обеззараживания транспорта. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 61(7): 451–458. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-7-451-458>

Для корреспонденции: Копытенкова Ольга Ивановна, гл. науч. сотр. отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья». E-mail: 5726164@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 12.04.2021 / Дата принятия к печати: 25.08.2021 / Дата публикации: 01.09.2021

Olga I. Kopytenkova^{1,3}, Oksana S. Sachkova², Leonid A. Levanchuk³

Comparative analysis of physical methods of transport disinfection

¹North-West Public Health Research Center, 2-ya Sovetskaya st., 4, St. Petersburg, Russia, 191036;²All-Russian Scientific Research Institute of Railway Hygiene, 1 bldg. 1, Pakgauznoe shosse, Moscow, Russia, 125438;³Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Moskovsky pr., 9, St. Petersburg, Russia, 190031

Transport is an object of mass concentration of people where workers and passengers are likely to be exposed to pathogens of infectious diseases. 95% are diseases that do not respond effectively to the effects of specific prophylaxis, influenza and acute respiratory viral infections. Currently, measures to contain the infection have led to a restriction of transport activity. In such conditions, the development of effective ways to prevent the occurrence and spread of infectious diseases transmitted by airborne droplets, not controlled by means of specific prevention, as well as the preservation of the health of transport industry workers, is particularly relevant.

The aim of the study is to determine the location and type of air disinfection device in the driver's cabin of a railway vehicle and the passenger compartment of a sitting car with various breathing options (natural exhalation, cough, sneezing).

To determine the location and capacity of the decontamination plant, the mathematical method of gas-dynamic calculations using solid-state three-dimensional models was used. The study was performed in the SolidWorks software package, using the FlowSimulation module to solve the system of nonlinear Navier-Stokes equations. The trajectories of air flows from human breathing in the cab of the vehicle are calculated taking into account the influence of ventilation. Research on the effectiveness of disinfection was carried out by a certified laboratory in the operating conditions of the vehicle.

The results of the calculation allowed us to establish that it is advisable to place devices for physical disinfection of air in the cab of the vehicle at the level of the information panel on the left side or directly in the center. The basis for choosing the technical characteristics of the device for air disinfection should be information about the maximum speed of particles approaching the information panel, which is equal to 2.2–3 m/s.

The safest method of disinfection of the air environment of vehicles is the use of closed UV radiation installations, the effectiveness of which is confirmed in the course of a full-scale experiment.

It is concluded that the formation of an infection zone when an infected person is in the cab or cabin of a vehicle largely depends on the duration of his stay in the cabin, the intensity of breathing and the use of personal protective equipment. The advantage of closed UV radiation installations is the simultaneous provision of high disinfection efficiency and satisfaction of all safety requirements (chemical, environmental, fire, electrical, etc.), as well as the possibility of using the method in the presence of people. The analysis of the regulatory and technical documentation showed that UV irradiators are the only type of disinfection equipment that meets the requirements of domestic legislation in the field of sanitary and epidemiological welfare.

Keywords: *transport; air disinfection methods; air disinfection technologies*

For citation: Kopytenkova O.I., Sachkova O.S., Levanchuk L.A. Comparative analysis of methods of microbial disinfection of vehicles. *Med. truda i prom. ekol.* 2021; 61(7): 451–458. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-7-451-458>

For correspondence: Olga I. Kopytenkova, chief researcher of public health risk analysis department of the North-Western Scientific Center for Hygiene and Public Health. E-mail: 5726164@mail.ru

Information about author: Kopytenkova O.I., <https://orcid.org/0000-0001-8412-5457>

Sachkova O.S., <https://orcid.org/0000-0003-3279-6560>

Levanchuk L.A., <https://orcid.org/0000-0003-3576-3852>

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

Received: 12.04.2021 / Accepted: 25.08.2021 / Published: 01.09.2021

Современное развитие общества характеризуется постоянной и значительной по своим масштабам миграцией населения. В связи с тем, что транспорт является объектом массового сосредоточения людей, в числе которых имеются лица в стадии заболевания или продромальной стадии болезни, водители транспортных средств с высокой долей вероятности подвергаются воздействию возбудителей инфекционных заболеваний.

Анализ литературных данных свидетельствует, что почти 90% случаев инфекционных заболеваний приходится на воздушно-капельные инфекции. В группе инфекций, передающихся воздушно-капельным путём, 95% занимают болезни, недостаточно эффективно поддающиеся воздействию средств специфической профилактики, грипп и особенно острые респираторные вирусные инфекции. Распространение коронавирусной инфекции в мире привело к развитию глобального кризиса, перегрузке национальных систем здравоохранения и серьёзным экономическим последствиям. Обратной стороной мер по сдерживанию инфекции стало, в частности, кардинальное ограничение транспортной активности.

В таких условиях разработка эффективных способов предупреждения возникновения и распространения инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём, не управляемых средствами специфической профилактики, а также сохранение здоровья работников транспортной отрасли, является особенно актуальной.

Положения об обязательности проведения профилактических противоэпидемических мероприятий на транспортных средствах, а также на объектах транспортной инфраструктуры, представляющих собой объекты массового скопления людей, закреплены в нормативных правовых актах [1–11].

В настоящее время в мировой и отечественной практике применяются различные методы дезинфекции и типы дезинфицирующих средств, имеющие свои особенности:

различную эпидемиологическую эффективность, коррозионность и экологичность.

В целях снижения вероятности распространения инфекции при эксплуатации транспортных средств, а также для профилактики заболевания работающих в транспортной отрасли необходима разработка новых научно обоснованных подходов к проведению профилактической дезинфекции на объектах транспортной инфраструктуры эффективными, экономически обоснованными и безопасными методами. Необходим особый контроль соблюдения санитарно-эпидемиологических требований на транспорте, как на внутренних, так и на межгосударственных транспортных потоках. Гигиенические нормативы по микробиологическому загрязнению воздушной среды закрытых помещений объектов социальной сферы требуют актуализации с учётом новых научных исследований [12].

Повышение эффективности, доступности, скорости транспорта напрямую влияет на скорость распространения инфекционных заболеваний. Таким образом, с эпидемиологической точки зрения пассажирский транспорт можно рассматривать как драйвер распространения инфекций. Конфигурация транспортных сетей определяет распространение пандемий [13].

В США и Европе начаты исследования, разрабатываются методы и рекомендации по улучшению качества аэриологической среды помещений. В технических руководствах Европейских и Североамериканских организаций, занятых в технологии воздухоподготовки, например, приводятся рекомендуемые уровни микробной обсеменённости воздуха и уровни обсеменения плесневыми грибами, считающиеся безопасными (приемлемыми) для общественных помещений. В большинстве таких руководств по данным, изложенным в «*Hygienic maintenance of office ventilation ductwork*» CIBSE (Великобритания), для общемикробного числа безопасным принят диапазон ниже 100–1000 КОЕ/м³. В случае если количество КОЕ/м³ менее 100 — уровень обсеменённости считается низким,

если от 100 до 1000 — средним и высоким — если уровень более 1000 [14].

На сегодняшний день наиболее эффективным способом предупреждения возникновения и распространения инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным (аэрозольным) путем, не управляемых средствами специфической профилактики, является обеззараживание воздуха, подаваемого в помещения, на основе современных ультрафиолетовых технологий, а также своевременная очистка и дезинфекция систем вентиляции и кондиционирования [15, 16].

Решение этой задачи должно проводиться исходя из соображений обеспечения требуемого уровня биологической безопасности с отнесением салонов транспортных средств к помещениям класса чистоты (В) «Условно чистые» согласно ГОСТ ИСО 14644-1-2002.

Для обеспечения этих требований наружный воздух, подаваемый приточными установками, должен обрабатываться устройствами обеззараживания воздуха (УОВ), обеспечивающими эффективность инактивации микроорганизмов и вирусов, находящихся в обрабатываемом воздушном потоке, не менее 95% и тонкой фильтрацией с эффективностью не менее 80%. Объем рециркуляционного воздуха должен составлять не более 70%. Количество приточного воздуха на 1 человека должно составлять не менее 20 м³/час. В ряде случаев обеззараживание только рециркуляционного воздуха может оказаться недостаточным из-за неопределённости степени биологической загрязнённости поступающего наружного воздуха, загрязнённости кондиционера, фильтров и внутренних поверхностей воздухопроводов [17].

В каждом конкретном случае объем дезинфекционных мероприятий, способ обеззараживания, выбор тех или иных дезинфекционных средств определяются механизмом передачи, резистентности возбудителя инфекции и продолжительностью соприкосновения с заразным человеком.

Цель исследования — определение места расположения и вида обеззараживающего устройства воздуха в кабине машиниста железнодорожного транспортного средства и пассажирском салоне сидячего вагона при различных вариантах дыхания (естественный выдох, кашель, чихание).

Изучение динамики распространения воздушных потоков при естественных реакциях человека, таких как кашель, ранее изучалось зарубежными специалистами с помощью неинвазивной теневой визуализации [18]. Данный метод основан на получении качественной и количественной картины воздушного потока при кашле с помощью высокоскоростной камеры, регистрирующей теневые изображения, создаваемые отражённым светом светодиода от зеркала, когда человек стоит в 1 м от зеркала. В результате исследования было установлено, что частицы слюны подхватываются воздушными потоками при кашле/чихании и движутся по той же траектории.

В настоящее время более прогрессивным вариантом визуализации воздушных потоков является применение математических исследований, газодинамических расчётов, с использованием твердотельных трёхмерных моделей.

Для проведения расчётов приняты следующие условия. За каждую секунду речи человек создаёт в среднем две с половиной тысячи капель диаметром 10–20 мкм. Около 40% этих капель содержат вирусные частицы и могут быть опасны для окружающих больного человека людей. Ско-

рость оседания капли на поверхность зависит от её размера и содержания нелетучих веществ (например, белков, сахаров, ДНК) [20]. Частица размером 50 мкм имеет скорость падения 7 см/с, размером до 10 мкм — 0,35 см/с, средняя скорость падения частицы 4 мкм — 0,06 см/с, не исключён процесс ресуспендирования. Средняя вирусная нагрузка одного миллилитра слюны составляет 7 миллионов частиц. Вероятность того, что в капле диаметром 50 мкм содержится хотя бы одна вирусная частица — 37 процентов; для частиц диаметром 10 микрометров вероятность снижается до 0,37 процентов. Известно, что 10 секунд после окончания речи в пространстве находится 60 тысяч частиц. Одна фраза сопровождается выбросом 2,5 тыс. капель. Крупные капли оседают в течение 8 минут, мелкие находятся в воздухе до 14 минут [20].

Дополнительные данные для расчёта: при спокойном дыхании выделяется 50 капель слюны. При разговоре выделяется 120 капель. Размер капель 50% >60 мкм, 30% 20–60 мкм, 20% меньше 20 мкм. Скорость потока воздуха «в нос» по гигиеническим нормам составляет 1,25 м/с. При кашле ориентировочно выделяется 3000 частиц со скоростью 80 км/час, при чихании — 30 тыс. со скоростью 300 км/час. 10-минутный разговор с человеком приводит к появлению невидимого «облака» из приблизительно 6000 условных аэрозольных частиц.

Настоящее исследование выполнено в программном комплексе *SolidWorks*, использован модуль *FlowSimulation* [19]. Метод *cfд*-анализа заключается в разработке расчётной модели испытуемого объекта и реализуется делением вычислительной области на ячейки, где моделируется поток, и в каждой численно решается система нелинейных уравнений Навье–Стокса:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\delta u}{\delta t} + \rho u \frac{\delta u}{\delta x} + \rho v \frac{\delta u}{\delta y} + \rho w \frac{\delta u}{\delta z} &= -\frac{\delta p}{\delta x} + \mu \left[\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \right] \\ \rho \frac{\delta v}{\delta t} + \rho u \frac{\delta v}{\delta x} + \rho v \frac{\delta v}{\delta y} + \rho w \frac{\delta v}{\delta z} &= -\frac{\delta p}{\delta y} + \mu \left[\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \right] \\ \rho \frac{\delta w}{\delta t} + \rho u \frac{\delta w}{\delta x} + \rho v \frac{\delta w}{\delta y} + \rho w \frac{\delta w}{\delta z} &= -\frac{\delta p}{\delta z} + \mu \left[\frac{\delta^2 w}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta z^2} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Также должно выполняться условие неразрывности потока:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \frac{\delta(\rho u)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho w)}{\delta z} = 0 \quad (2)$$

$$p = \rho RT$$

где u, v, w — искомые компоненты вектора скорости (по осям x, y, z), p — давление, t — время, μ — динамический коэффициент вязкости для воздуха, ρ — плотность, R — универсальная газовая постоянная, T — температура.

При решении системы уравнений Навье–Стокса применяются численные методы, в частности вводятся модели турбулентности. Для данной задачи используется модель « $k-\epsilon$ », так как она удовлетворительно описывает сдвиговые течения на удалении от стенки модели.

Для дискретизации пространства в расчётной области, ограниченной стенками кабины и салона, применён метод конечных объёмов, а именно *Finite Element based Finite Volume Method*, когда решение вычисляется в узлах, а контрольные объёмы формируются вокруг них. При исследовании разработана упрощённая модель кабины и салона. Траектории потоков воздуха от дыхания человека в

кабине транспортного средства рассчитаны с учётом влияния вентиляции.

Исследования эффективности обеззараживания проведено аттестованной лабораторией в условиях эксплуатации транспортного средства (кабина железнодорожного локомотива и салон железнодорожного вагона с сидячими местами).

Полученные результаты позволили установить, что скорость потока воздуха падает достаточно быстро, уже на расстоянии 210 мм от пола, значение снижается до окружающей скорости воздуха и составляет около 0,1 м/с. Распространение воздушных потоков при кашле/чихании в режиме «без препятствия» демонстрируют высокую скорость, но значительно меньший объем распространения частиц по кабине транспортного средства, максимальная скорость частиц составляет в пределах 46 м/с при чихании на расстоянии 15–20 мм. При этом скорость на расстоянии 790 мм от источника падает до 5–6 м/с при схеме расчёта «без препятствия», и до 3–2,2 м/с при чихании с препятствием «в рукав». При кашле/чихании с препятствием поведение воздушных траекторий становится хаотичным, появляются значительные области завихрения. Скорости в зонах завихрения приближаются к нулю в обоих вариантах. Основное количество траекторий со скоростями больше 1 м/с сосредоточено в области пультов управления транспортным средством, при отражении потока от панели управления скорость стремительно падает, т. е. частицы теряют скорость с воздушным потоком, одновременно оседая на приборной панели и отражаясь от неё. Представляет интерес тот факт, что при использовании препятствия при кашле и чихании частицы подвержены большему удалению вентиляционным потоком, так как их скорость гораздо ниже, чем скорость частиц при расчёте без препятствия, когда скорости естественной вентиляции недостаточно для смещения потока. Установлено, что при кашле и чихании без препятствия сужается площадь оседания частиц, но увеличивается их концентрация и может увеличиваться расстояние от источника.

Принимая во внимание полученные поля распределения частиц, наиболее уязвимым местом становится информационная панель транспортного средства (рис. 1).

Приборы для обеззараживания воздуха в кабине транспортного средства целесообразно расположить на уровне информационной панели с левой стороны или непосредственно по центру. Максимальная скорость частиц, поступающих к информационной панели, равна 2,2–3 м/с.

Эти данные должны служить основанием для выбора технических характеристик прибора для обеззараживания воздуха.

Для салона железнодорожного вагона с сидячими местами получены следующие данные. Пребывание вирус-выделяющего человека в замкнутом пространстве салона наземного транспортного средства приводит к формированию в течение 5 минут зоны радиусом 1,35 м с концентрацией вирусосодержащих компонентов достаточной для заражения. В течение 10 минут зона достаточная для заражения формируется радиусом 1,5 м. В условиях правильно надетой и правильно эксплуатируемой маски зона заражения не формируется. В условиях использования маски только для закрытия ротовой полости и открытых ноздрях расчётная зона заражения в течение 5 и 10 минут не отличается от зоны при отсутствии маски. Громкий разговор в салоне способствует увеличению радиуса зоны заражения на 0,75 м в направлении взгляда человека и составляет 2,1 м через 5 минут и 2,25 м через 10 минут разговора. Чихание и кашель без использования препятствия приводит к одномоментному распространению заражающего материала на расстояние 6 и 4 м соответственно.

В дальнейшем механизм рассеивания инфицированного материала определяется следующим. Осевшие на поверхность капли высыхают и образуются мелкодисперсные и пылевые аэрозоли. В этой стадии частицы имеют наименьшие размеры, легко перемещаются потоками воздуха, длительное время находятся в нем во взвешенном состоянии. При этом скорость их перемещения превышает 30 см/с, поэтому они могут рассеиваться на большие расстояния. Можно предположить, что аналогичные процессы происходят на объектах городского железнодорожного транспорта и в автобусах междугородного сообщения.

Снижение риска распространения инфекционных заболеваний достигается в таком случае эффективной вентиляцией, в процессе которой из салона постоянно отводится достаточное количество потенциально заражённого воздуха и подаётся необходимое количество наружного безопасного в микробиологическом отношении воздуха.

Реализация такого процесса на объектах общественного транспорта затруднена, поскольку в целях повышения энергоэффективности систем вентиляции и кондиционирования традиционно применяется режим рециркуляции. Следовательно, условием обеспечения эпидемиологической безопасности воздушной среды кабины и салона транспортного средства является его оснащение

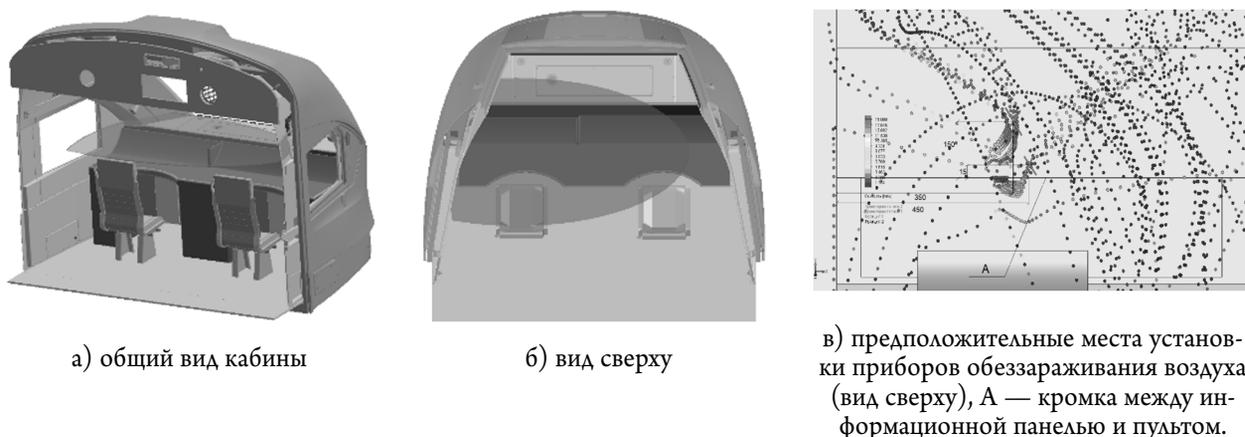


Рис. 1. Зона заражения в кабине машиниста электропоезда ЭП2Д в отсутствие вентиляции
Fig. 1. Infection zone in the driver's cab of the EPL2T electric train in the absence of ventilation

установками рециркуляционного воздуха в системе вентиляции и кондиционирования. Сравнительный анализ применяемых в настоящее время технологий проведён в **таблице**.

На сегодняшний день к применению на транспорте в России допущены только УФ-технологии физической дезинфекции. УФ-источники излучения, как правило, имеют селективный спектр, рассчитанный на достижение максимально возможного эффекта для определенного фотобиологического процесса. Эксплуатация установок долж-

ны осуществляться с учётом требований стандарта *СТЕС 009/Е:2002* «Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем». Волны 265 нм вызывают разрушения ДНК микроорганизмов и прекращают процесс их воспроизводства. В отличие от волн длиной 185 нм, они не способствуют образованию озона.

Эффективность системы вентиляции и кондиционирования воздуха с модулем УФ обеззараживания изучена натурными испытаниями в пассажирском вагоне в условиях эксплуатации.

Таблица / Table

Сравнительная характеристика физических методов обеззараживания воздушной среды
Comparative characteristics of physical methods of air disinfection

Параметры	Фотокаталитические воздухоочистители	Ионные электростатические воздухоочистители	Закрытые УФ-облучатели	Открытые УФ-лампы	Импульсные ксенонные УФ-облучатели	Аэрозольные генераторы	Озоновые генераторы
Назначение	Очистка и обеззараживание воздуха	Очистка и обеззараживание воздуха	Обеззараживание воздуха	Обеззараживание воздуха и поверхностей	Обеззараживание воздуха и поверхностей	Обеззараживание воздуха и поверхностей	Обеззараживание воздуха и поверхностей
Эффективность метода в отношении: бактерий и вирусов	Эффективен	Ограниченно эффективен против вирусов	Эффективен. Высокая способность к инаktivации вирусов	Эффективен. Высокая способность к инаktivации вирусов	Эффективен	Эффективен	Эффективен
Плесневые и дрожжевые грибы	Не действует	Уничтожает	Эффективность зависит от дозы облучения	Эффективность зависит от дозы облучения	Не действует	Уничтожает	Уничтожает
Возможность использования в системе вентиляции	Возможно	Возможность ограничена из-за высоких потерь напора	Возможно	Не применимо	Не применимо	Не применимо	Не применимо
Режим работы	Непрерывный, в присутствии людей	Непрерывный, в присутствии людей	Непрерывный, в присутствии людей	В отсутствие людей	В отсутствие людей	В отсутствие людей	В отсутствие людей
Использование в транспортных средствах	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Применение возможно	Применение возможно	Нет	Применение возможно	Сведения отсутствуют
Соответствие Р 3.5/2.5.0226-20	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Соответствует	Соответствует	Сведения отсутствуют	Соответствует	Сведения отсутствуют
Обеспечение пром. безопасности	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Обеспечивается	Обеспечивается	Сведения отсутствуют	В зависимости от типа применяемого дезинфектанта и устройства установки.	Сведения отсутствуют
Соответствие ЕСЭГТ от 28.05.2010 № 299).	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Соответствует	Соответствует	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют
Контролируемая эффективность обеззараживания не менее 99,99%.	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Соответствует	Соответствует	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют
В процессе эксплуатации на транспортном средстве, эффективность не менее 95%.	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Обеспечивается	Обеспечивается	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют	Сведения отсутствуют

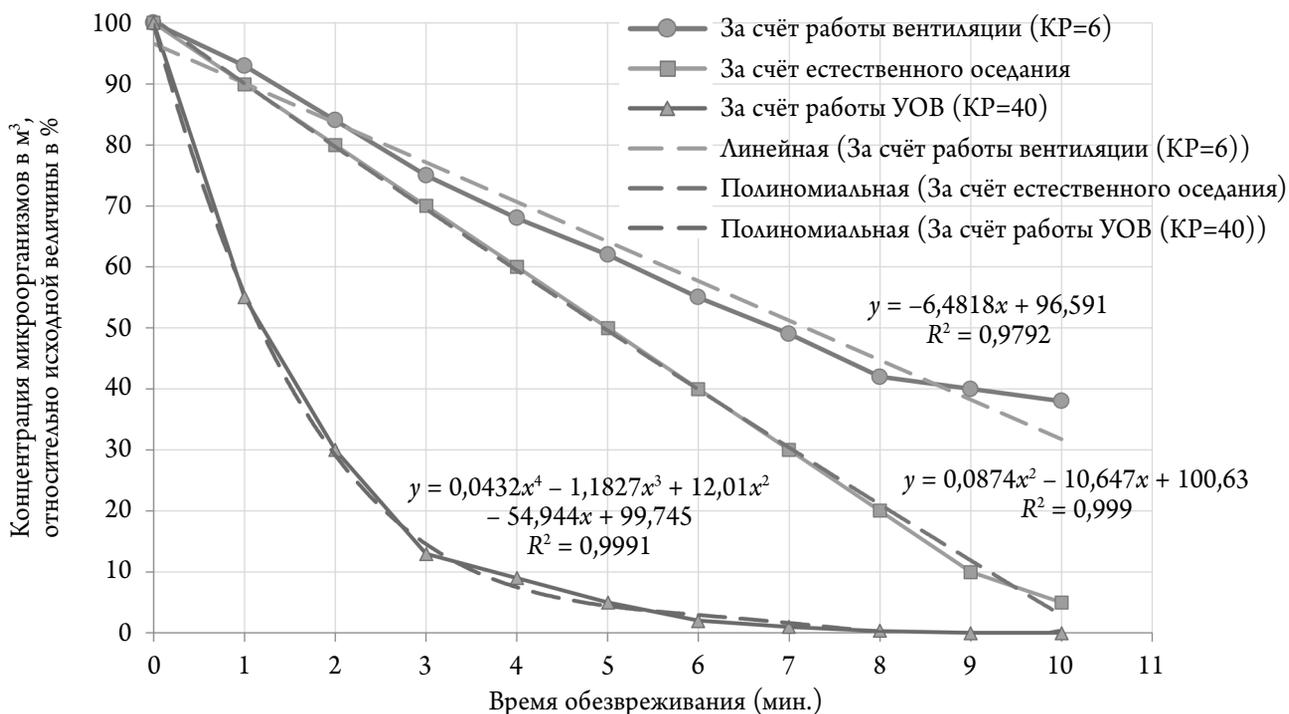


Рис. 2. Динамика изменения концентрации гемолитической микрофлоры в воздушной среде в различных условиях эксплуатации транспортного средства

Fig. 2. Dynamics of changes in the concentration of hemolytic microflora in the air in various operating conditions of the vehicle

Результаты определения динамики изменения концентрации гемолитической микрофлоры в воздушной среде в различных условиях представлены на **рисунке 2**.

Поскольку чувствительность большинства вирусов к УФ-облучению примерно равна чувствительности гемолитической микрофлоры, полученные результаты косвенно подтверждают эффективность данной технологии в целях предотвращения распространения инфекций как бактериальной, так и вирусной природы.

Специфический характер транспортных объектов (скопление большого числа людей на ограниченной площади, достаточно длительное их нахождение в этих условиях в процессе поездки или ожидания поездки), как работников транспортной системы, так и пассажиров приводит к повышенному риску негативного воздействия патогенных микроорганизмов. В связи с тем, что эффективность, доступность и широкое использование транспортных сетей влияет на скорость распространения инфекционных заболеваний в мире, мероприятия для обеспечения эпидемиологической безопасности выводит дезинфекцию транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры в число приоритетных задач. Процедуры дезинфекции на транспорте являются объектом специального нормативного регулирования.

Формирование зоны заражения при нахождении инфицированного человека в транспортном средстве в значительной степени зависит от продолжительности его нахождения в кабине или в салоне, интенсивности дыхания и использования им средств индивидуальной защиты.

В посткризисный период после пандемии на первый план выходят вопросы качества транспортной сети, включающие в первую очередь совершенствование системы эпидемиологической безопасности. Все применяемые на сегодняшний день методы профилактической дезинфекции воздушной среды обладают потенциально высокой степенью эффективности в отношении снижения концентрации патогенных микроорганизмов. Выбор конкретного метода дезинфекции во многом определяется совокупностью факторов, таких как вид и размеры объекта дезинфекции, санитарное состояние помещения и количество находящихся в нем людей, тип возбудителя инфекции, желаемое время действия дезинфекции.

Наиболее безопасным и эффективным физическим методом дезинфекции воздушной среды транспортных средств является применение закрытых установок УФ-излучения (265 нм), которые обеспечивают инактивацию патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов и не способствуют образованию озона. Принципиальным отличием метода является одновременное обеспечение высокой эффективности дезинфекции и удовлетворение всем требованиям безопасности (химической, экологической, пожарной, электрической), а также возможности использования метода в присутствии людей (установки закрытого типа). Анализ нормативно-технической документации показал, что УФ-облучатели — преимущественный на сегодняшний день тип дезинфекционного оборудования, удовлетворяющий требованиям отечественного законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия.

Список литературы

- СП 3.1.3597-20 «Профилактика новой коронавирусной инфекции (COVID-19)», утверждённых постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22.05.2020 № 15.
- СП 3.1.1.3473-17 «Профилактика брюшного тифа и паратифов», утверждённых постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 08.06.2017 № 84.
- СП 3.1.1.2521-09 «Профилактика холеры. Общие требования к эпидемиологическому надзору за холерой на территории Российской Федерации», утверждённых постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 09.06.2009 № 43.
- СП 3.1.7.2615-10 «Профилактика иерсиниоза», утверждённых постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 № 37.
- СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры», утверждённых постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 16.10.2020 № 30.
- Методические указания по поэтапному выходу из режима противоэпидемических ограничений, введённых в условиях COVID-19, при восстановлении авиапассажирских перевозок в гражданской авиации, согласованные письмом Роспотребнадзора от 20.05.2020 № 02/10029-2020-23.
- Временные методические рекомендации по организации работы предприятий автомобильного транспорта, городского наземного электрического транспорта и внеулично-го транспорта в целях защиты пассажиров и персонала в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки и поэтапного снятия ограничений, связанных с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19), согласованные письмом Роспотребнадзора от 25.05.2020 № 02/110393-2020-23.
- Временные методические рекомендации по организации работы пунктов пропуска через государственную границу Российской Федерации в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки и поэтапного снятия ограничений, связанных с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19), согласованные письмом Роспотребнадзора от 15.06.2020 № 02/12112-2020-23.
- Временные рекомендации, направленные на безопасное функционирование морского и внутреннего водного транспорта в условиях COVID-19 (вместе с «Временными рекомендациями для судоходных компаний по предупреждению распространения COVID-19», «Временными рекомендациями для морских и речных пассажирских портов и терминалов по предотвращению распространения COVID-19», ««Временными рекомендациями по организации работы в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки в целях защиты пассажиров»», согласованные письмом Роспотребнадзора от 25.05.2020 № 02/10389-2020-23.
- Временные рекомендации по обеспечению противоэпидемической безопасности пассажирских перевозок железнодорожным транспортом, направленные на снижение риска возникновения и распространения коронавирусной инфекции (COVID-19), согласованные письмом Роспотребнадзора от 25.05.2020 № 02/10398-2020-23.
- Временные рекомендации по обеспечению противоэпидемической безопасности пассажирских перевозок железнодорожным транспортом, направленные на снижение риска возникновения и распространения коронавирусной инфекции (COVID-19), согласованные письмом Роспотребнадзора от 25.05.2020 № 02/10398-2020-23.
- Беляев Е.Н. Социально-гигиенические технологии — стратегия обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Е.Н. Беляев, Т.А. Семенова. *Материалы XI Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей*. М., 2012; 1: 73–5.
- Luke T.C. and J.-P. Rodrigue. Protecting Public Health and Global Freight Transportation Systems during an Influenza Pandemic. *American Journal of Disaster Medicine*. 2008; 3(2): 99–107.
- Breitner S., Stolzel M., Cyrys J. et al. Short-term mortality rates during a decade of improved air quality in Erfurt, Germany. *Environ. Health Perspect*. 2009; 117(3): 448–54.
- Федоров Ю.Н. Оценка перспектив развития железнодорожной инфраструктуры России. Ю.Н. Федоров. *Транспорт Российской Федерации*. 2011; 3 (34): 4–7.
- Кнох Е.Г. Atmospheric pollutants and mortalities in English local authority areas. *J. Epidemiol. and Community Health*. 2008; 52: 442–7.
- Tang J.W., Li Y., Eames I., Chan P.K. & Ridgway G.L. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *J. Hosp. Infect*. 2006; 64: 100–14.
- Электронный ресурс. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3335026/> (дата обращения 12.12.2021)
- Алямовский А.А. *Solid Works Simulation. Как решать практические задачи*. СПб.: БХВ-Петербург; 2012.

References

- SP 3.1.3597-20 "Prevention of new coronavirus infection (COVID-19)", approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 22.05.2020 No 15.
- SP 3.1.1.3473-17 "Prevention of typhoid and paratyphoid fever", approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 08.06.2017 No. 84.
- SP 3.1.1.2521-09 "Prevention of cholera. General requirements for epidemiological surveillance of cholera in the territory of the Russian Federation", approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 09.06.2009 No. 43.
- SP 3.1.7.2615-10 "Prevention of yersiniosis", approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 26.04.2010 No. 37.
- SP 2.5.3650-20 "Sanitary-epidemiological requirements for individual types of transport and transport infrastructure facilities" approved by the Resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 16.10.2020 No. 30.
- Guidelines for a phased withdrawal from the anti-epidemic regime of restrictions in terms of COVID-19, while restoring passenger air transport civil aviation approved by the letter of Rosпотребнадзор from 20.05.2020, No. 02/10029-2020-23.
- Temporary methodological recommendations on the organization of work of enterprises of road transport, urban ground electric transport and off-street transport in order to protect passengers and staff in an unfavorable epidemiological situation and the gradual lifting of restrictions related to the spread of a new coronavirus infection (COVID-19), approved by the letter of Rosпотребнадзор dated 25.05.2020 No. 02/110393-2020-23.
- Temporary guidelines for organizing the work of checkpoints across the state border of the Russian Federation in an unfavorable epidemiological situation and the gradual lifting of restrictions related to the spread of a new coronavirus infection (COVID-19), approved by the letter of Rosпотребнадзор dated 15.06.2020 No. 02/12112-2020-23.
- Temporary recommendations aimed at the safe operation of sea and inland water transport in the conditions of COVID-19 (together with "Temporary recommendations for shipping companies to prevent the spread of COVID-19",

- "Temporary recommendations for sea and river passenger ports and terminals to prevent the spread of COVID-19", "Temporary recommendations for the organization of work in an unfavorable epidemiological situation in order to protect passengers"), approved by the letter of Rospotrebnadzor dated 25.05.2020 No. 02/10389-2020-23.
10. Interim recommendations on ensuring the anti-epidemic safety of passenger transport by rail, aimed at reducing the risk of the occurrence and spread of coronavirus infection (COVID-19), agreed by the letter of Rospotrebnadzor dated 25.05.2020 No. 02/10398-2020-23.
 11. Interim recommendations on ensuring the anti-epidemic safety of passenger transport by rail, aimed at reducing the risk of the occurrence and spread of coronavirus infection (COVID-19), agreed by the letter of Rospotrebnadzor dated 25.05.2020 No. 02/10398-2020-23.
 12. Belyaev E.N. Socio-hygienic technologies-a strategy for ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population. E.N. Belyaev, T.A. Semenova. *Materials of the XI All-Russian Congress of Hygienists and sanitary doctors.* M., 2012; 1: 73–5.
 13. Luke T.C. and J.-P. Rodrigue. Protecting Public Health and Global Freight Transportation Systems during an Influenza Pandemic. *American Journal of Disaster Medicine.* 2008; 3(2): 99–107.
 14. Breitner S., Stolzel M., Cyrys J. et al. Short-term mortality rates during a decade of improved air quality in Erfurt, Germany. *Environ. Health Perspect.* 2009; 117(3): 448–54.
 15. Fedorov Yu.N. Assessment of prospects for the development of the railway infrastructure of Russia / Yu.N. Fedorov. *Transport Rossijskoj Federatsii.* 2011; 3 (34): 4–7.
 16. Knox E.G. Atmospheric pollutants and mortalities in English local authority areas. *J. Epidemiol. and Community Health.* 2008; 52: 442–7.
 17. Tang J.W., Li Y., Eames I., Chan P.K. & Ridgway G.L. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *J. Hosp. Infect.* 2006; 64; 100–14.
 18. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3335026/> (electronic resource, accessed 11.12.2021).
 19. Alyamovsky A.A. *SolidWorks Simulation. How to solve practical problems.* St. Petersburg: BHV-Petersburg; 2012.