

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Представлен обзор методов обеззараживания воздушной среды. Проведен анализ применимости методов обеззараживания в системах вентиляции и кондиционирования общественного транспорта, сделаны выводы о наиболее эффективных и безопасных методах дезинфекции воздушной среды транспортных средств.



Д.В. Давыдов

***Ключевые слова:** оценка эффективности и безопасности применения различных методов обеззараживания воздушной среды на транспорте, установки обеззараживания воздуха*

EDN: FFDСPI

Снижение риска распространения эпидемических заболеваний является одной из важнейших государственных задач. Данные мероприятия регламентируются федеральным законом №52-ФЗ от 30.02.1999 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [1].

Общественным транспортом ежедневно пользуются миллионы людей, в связи с этим редуцирование риска распространения заболеваний таких как грипп, ОРВИ, COVID-19 является одним из важных аспектов обеспечения благополучия и здоровья населения.

В России специалистами ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора были разработаны критерии санитарно-микробиологической оценки воздушной среды объектов общественного транспорта [2].

В частности, общее микробное число (ОМЧ) в воздушной среде не должно превышать $2 \cdot 10^3$ КОЕ/м³; суммарный показатель гемолитической кокковой флоры — не более 3% от ОМЧ [2].

Распространение инфекционных заболеваний может быть предотвращено эффективной вентиляцией, которая осуществляет подачу достаточного количества свежего воздуха и отвод воздуха, потенциально загрязненного болезнетворными микроорганизмами.

Однако в условиях транспорта такой алгоритм технически реализовать затруднительно, поскольку ввиду ограниченности электрической мощности систем кондиционирования и вентиляции традиционно применяется режим рециркуляции. Система воздухообмена с рециркуляцией представляет собой комплекс, в котором часть отводимого из салона или кабины транспортного средства воздуха смешивается с наружным. После этого осуществляется термостабилизирование данного смешанного воздуха и его подача обратно в помещение. Пример такой реализации представлен на рис. 1.

Поскольку применение таких систем значительно уменьшает объем отводимого из салона потенциально

Давыдов Денис Валерьевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, обеззараживание воздушной среды на транспорте, охрана труда, железнодорожный транспорт. Автор двух научных работ.

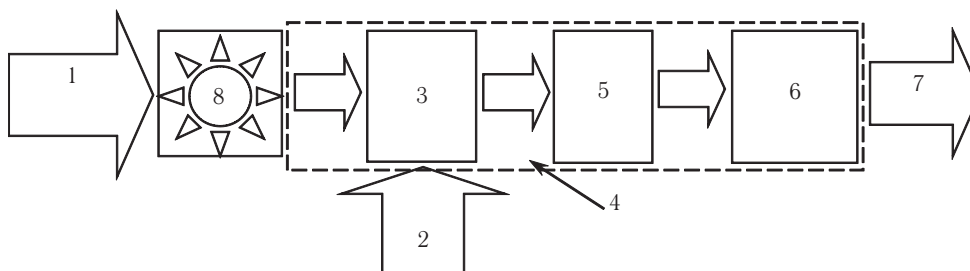


Рис. 1: 1 – входной рециркуляционный воздуховод; 2 – входной воздуховод наружного воздуха; 3 – камера смешивания наружного и рециркуляционного воздуха; 4 – главный воздуховод; 5 – испарительный блок; 6 – приточный вентилятор; 7 – выходной нагнетательный воздуховод; 8 – блок УОВ

контаминированного воздуха и объем подаваемого в салон или кабину воздуха с улицы (с минимальным содержанием патогенных микроорганизмов), риск заражения существенно возрастает.

Поэтому при применении рециркуляции необходимо обеспечивать снижение количества болезнетворных микроорганизмов. Это может быть реализовано путем оснащения системы обеспечения микроклимата установками обеззараживания воздуха. При этом оптимально обеззараживать рециркуляционный воздух, но при невозможности реализации такого технического решения возможно размещать установки обеззараживания воздуха на притоке перед подачей в салон/кабину транспортного средства.

Установка обеззараживания воздуха представлена на рис. 2.

В настоящее время сформулированы медико-биологические и общие технические требования к установкам обеззараживания воздуха (УОВ), применяемых в салонах транспортных средств [3–6], среди которых важно отметить следующие:

- УОВ должны выполнять функцию прерывания путей передачи эпидемического процесса за счет инактивации (умерщвления) возбудителей инфекционных болезней воздушно-капельного пути передачи;

- методы обеззараживания, применяемые в присутствии людей, должны быть безреагентными (физическими);

- УОВ должна устанавливаться в систему вентиляции (кондиционирования, воздушного отопления) подвижного состава для обеззараживания рециркуляционного или смешанного воздуха;

- УОВ рециркуляционного воздуха в процессе эксплуатации в процессе эксплуатации должна обеспечивать инактивацию (умерщвление) патогенных и потенциально патогенных биологических агентов,

передающихся воздушно-капельным путем, с эффективностью не менее 95%;

- УОВ не должна генерировать загрязняющие вещества в концентрациях, превышающих среднесуточные предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;

- потери напора при объемной подаче воздуха не должны ухудшать работу системы обеспечения микроклимата, установленную в подвижном составе, вследствие чего, как правило, не должны превышать 100 Па;

- электроснабжение УОВ должно осуществляться от системы электроснабжения подвижного состава. Максимальная потребляемая мощность УОВ должна быть не более 0,5 кВт на каждые 2000 м³/ч обрабатываемого воздуха.

Применение УОВ в системах обеспечения микроклимата (СОМ) имеет ряд особенностей. СОМ предназначена для вентиляции, кондиционирования воздуха, а в отдельных случаях и отопления пассажирских салонов и кабин. СОМ содержит входной воздуховод воздуха с улицы, рециркуляционный воздуховод,

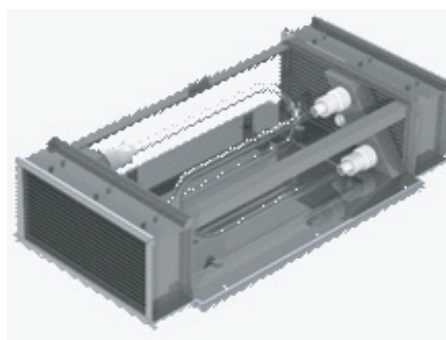


Рис. 2. Установка обеззараживания воздуха

подсоединенные к блоку смешивания наружного и рециркуляционного воздуха. За блоком смешивания последовательно расположены главный воздуховод, в котором закреплены испарительный блок, нагревательный элемент и приточный вентилятор, причем приточный вентилятор установлен после испарительного блока и выходной нагнетательный воздуховод, подающий обработанный воздух в салон. Блок УОВ может быть установлен в одном или в нескольких из следующих мест: перед камерой смешивания во входном рециркуляционном воздуховоде, и/или в камере смешивания, и/или после камеры смешивания перед испарительным блоком, и/или после испарительного блока перед приточным вентилятором, и/или после приточного вентилятора в выходном нагнетательном воздуховоде.

Указанные требования налагают ряд ограничений для возможности и эффективного применения методов обеззараживания воздуха. Рассмотрим основные из них.

Методы обеззараживания воздушной среды в помещениях

Фотокаталитические воздухоочистители [7].

Эффект фотоактивирования микроорганизмов на диоксиде титана (TiO_2) позволяет уничтожать широкий спектр грамотрицательных и грамположительных бактерий, нитчатых и одноклеточных грибов, водорослей, простейших, вирусов млекопитающих и бактериофагов как на поверхностях, так и в воздухе и воде. Механизм уничтожения включает деградацию клеточной стенки и цитоплазматической мембраны из-за производства активных форм кислорода, таких как гидроксилрадикалы и перекись водорода. Это первоначально приводит к утечке клеточного содержимого, а затем к лизису клеток и может сопровождаться полной минерализацией организма. Антимикробная и противовирусная активность усиливается в присутствии других антимикробных и противовирусных агентов.

При контакте света с фотокатализатором происходит окислительно-восстановительная химическая реакция. При нанесении на поверхность он очищает воздух таким образом, чтобы предотвратить загрязнение поверхности. При покрытии таким средством внутренних стен помещения, вредные вещества и различные микробы (вирусы гриппа, плесень, кишечная палочка, золотистый стафилококк, в т. ч. метициллин-резистентный, и др.), расщепляются на H_2O и CO_2 и становятся безвредными.

К настоящему моменту уже показано, что благодаря напылению на поверхность диоксида титана большинство органических соединений окисляется до CO_2 и H_2O .

Фактически любой фотокаталитический очиститель воздуха включает в себя носитель с нанесенным TiO_2 , который подвергается облучению определенным спектром света и через который проходит воздух.

Ограничения по возможному применению фотокаталитических воздухоочистителей на объектах городского общественного транспорта обусловлены следующими:

- при наличии в воздушной среде относительно больших количеств неорганических загрязнений возможна блокировка активных центров катализатора. При этом к активной поверхности катализатора не могут попасть обрабатываемые вещества и УФ-излучение;

- фотокаталитическое окисление летучих органических соединений происходит в несколько стадий. При этом существует вероятность образования достаточно стабильных промежуточных побочных продуктов, многие из которых являются токсичными (формальдегиды, ацетальдегиды и т.п.).

Поскольку в воздушной среде объектов городского общественного транспорта вероятно присутствие относительно больших концентраций неорганических и летучих органических загрязнений, эффективность и безопасность применения фотокаталитических воздухоочистителей требует проведения исследований.

Электрофлювиальные устройства [8].

Принцип работы устройств искусственной ионизации воздуха состоит в электростатическом эффекте очищения и насыщении воздуха легкими аэроионами. Наиболее распространенные устройства называются электрофлювиальными. Используемые в них электроды индуцируют с помощью коронного разряда количество аэроионов, рекомендованное наукой как безопасное и полезное. Впервые такие устройства разработал и применял в своих опытах русский и советский учёный А.Л. Чижевский.

Ионизация происходит из-за электрического возбуждения находящихся в воздухе атомов или молекул до состояния, вызывающего удаление электронов из соответствующих атомных орбит; причем атомы с удаленным электроном, известные как катионы или положительные ионы, заряжены положительно. Кроме того, освобожденные электроны сталкиваются с другими атомами или молекулами, находящимися в воздухе, отрицательно заряжая их и образуя так называемые анионы или отрицательные ионы.

Таким образом, в процессе ионизации происходит преобразование атомов или молекул частиц в соответствующие анионы или катионы, не являющиеся вредными для человека.

Оборудование искусственной ионизации изготавливается с применением современных технологий. В

основе обработки лежит процесс биполярной ионизации в тлеющем коронном разряде на поверхности специальной лампы, который активизирует молекулы кислорода окружающего воздуха. Активизированные молекулы и атомы кислорода, присоединяясь к ионам воздуха, образуют среду, обладающую высокой окислительной и, за счет этого, бактерицидной способностью. В результате окисления происходит:

- нейтрализация запахов;
- блокирование жизнедеятельности бактерий и вирусов, спор грибов, плесени и других вредных простейших одноклеточных организмов, как в воздухе, так и на всех поверхностях;
- наличие заряда на ионах воздуха способствует слипанию микроскопических частиц пыли в более крупные образования, которые быстро оседают и легче фильтруются.

Образование озона (O_3), как побочного продукта и образование активных полиионов кислорода является дополнительным бактерицидным эффектом.

Нейтрализация запахов, подавление бактерий и образование сбалансированной ионной среды существенно улучшает качество воздуха в помещениях, что позволяет сократить подачу свежего воздуха через приточную вентиляцию.

При внедрении в реальные условия подвижного состава транспорта эффективность оборудования ионизации часто снижается вследствие того, что при санитарной обработке на объектах транспорта приходится обеззараживать среды, содержащие микроорганизмы, окруженные естественной средой обитания, например слюна, слизь. Основой состава такой среды является водно-белковая смесь различной концентрации. В результате воздействию активных радикалов подвергается именно белковая оболочка, и эффективность инактивации собственно микроорганизмов резко снижается.

Кроме того, неизбежное при ионизации поступление в салон транспортного средства активных радикалов и озона, в общем случае, является вредным для присутствующих в помещении людей, поскольку они негативно воздействуют на все клеточные структуры организма человека.

Электропорационная технология «Поток» [9].

При применении данной технологии воздух проходит через электрические поля, индуцируемые попеременно расположенными электродами из высокопористых электропроводных пенометаллических материалов. Электроды соединены с высоковольтным источником питания.

Полярность электродов меняется во времени.

Далее происходит многократная перезарядка поверхности и внутриклеточных структур, что при-

водит к нарушению жизнеспособности бактерий и вирусов, после чего разрушенная биомасса задерживается электростатическим осадителем.

Диэлектрические пористые пластины обеспечивают осаждение разрушенной биомассы. Также они служат для исключения пробоев при повышенной влажности и запыленности воздушного потока.

В процессе воздействия электрических полей происходит многократное изменение величин и знаков электрических потенциалов на поверхности и внутри клетки. В результате оболочка микроорганизма многократно деформируется вплоть до появления множественных разрывов, через которые вытекает цитоплазма и микроорганизм разрушается.

Недостатком оборудования электропорации являются большие габаритные размеры установок, не позволяющие разместить их в системах вентиляции и кондиционирования транспортных средств, а также большое аэродинамическое сопротивление, требующее значительного повышения мощности вентиляторов системы обеспечения климата.

Ультрафиолетовые облучатели [10].

Принцип действия установок очистки воздуха на основе бактерицидных ламп основан на воздействии ультрафиолетового (УФ) излучения на клетку микроорганизма. К бактерицидному диапазону длин волн относится интервал от 205 до 315 нм. Такое УФ излучение вызывает димеризацию тимина в молекулах ДНК и РНК. Накопление таких изменений в ДНК/РНК микроорганизмов не дает возможности репродукции и в итоге приводит к их гибели.

УФ-обеззараживание выполняется путем воздействия на микроорганизмы определенной дозы УФ излучения, которая является произведением интенсивности на время воздействия. Для различных микроорганизмов такие дозы изучены и приведены в справочниках (например Руководство Р 3.5.1904-04).

Метод УФ-обеззараживания при современном развитии науки и техники является наиболее приемлемым безреагентным (физическим) методом дезинфекции воздушной среды салонов и кабин транспортных средств. Он одновременно обеспечивает высокую эффективность обеззараживания и соответствует всем требованиям безопасности (химической, экологической, пожарной, электрической и др.) [11;12].

Базовое уравнение математической модели процесса обеззараживания воздушной среды УФ-излучением, отражающее функциональную связь между микробиологическими характеристиками микроорганизмов и номинальными значениями технических параметров бактерицидной установки при нормальных условиях в помещениях, описывается следующим выражением:

$$H_v = K_\phi \cdot N_\lambda \cdot \Phi_{\text{ок}} \cdot t_\lambda \cdot 3600 / V, \text{ Дж/м}^3,$$

где H_v — бактерицидная доза, Дж/м³, соответствующая заданному значению бактерицидной эффективности, в соответствии с требованиями СП 2.5. 3650-20 163 Дж/м³;

K_ϕ — коэффициент использования бактерицидного потока ламп;

N_λ — число ламп в облучателе;

$\Phi_{\text{ок}}$ — бактерицидный поток лампы, Вт;

t_λ — длительность эффективного облучения, ч;

V — объем салона транспортного средства, м³.

Значения коэффициентов в формуле определяются расчетным методом и подтверждается в процессе испытаний.

Тем не менее, для применения на транспорте традиционные конструкции УФ-облучателей, а также классические источники УФ-излучения, к сожалению, не могут быть использованы.

Чтобы обеспечить защиту пассажиров транспортного средства от болезнетворных микроорганизмов, как было отмечено выше, нужно обеспечить обеззараживание большого объема воздуха в единицу времени, при этом габариты, в которых устанавливается УОВ определяется конструкцией СОМ транспортного средства, что налагает ограничения на размеры УОВ и размеры используемых УФ-ламп. Кроме того, при использовании УФ-ламп большой мощности узлы и элементы системы вентиляции и кондиционирования подвергаются существенному разрушающему воздействию прямого и отраженного УФ-излучения, а выход УФ-излучения за пределы УОВ может нанести вред пассажирам. Чтобы достичь указанных результатов, нужно соблюсти эти взаимоисключающие условия: УОВ должна обеспечить высокую степень обеззараживания воздуха в потоке и высокую производительность, при этом она не должна иметь высокое энергопотребление, не создавать высокое аэродинамическое сопротивление и исключить выход УФ излучения за пределы УОВ.

Все указанные ограничения не позволяют использовать бактерицидные рециркуляторы и бактерицидные модули, встраиваемые в системы вентиляции общественных зданий и требуют существенной доработки УОВ.

Для их использования должна быть проведена соответствующая адаптация.

Наиболее эффективным источником УФ-излучения являются амальгамные лампы низкого давления. Амальгама — это твердый или жидкий раствор ртути в одном или нескольких металлах. Давление паров ртути над этим сплавом существенно меньше, чем над чистой ртутью, поэтому такая лампа безопасна, даже

если происходит нарушение герметичности колбы. При работе обычной амальгамной лампы происходит разогрев колбы до температур 80—130 °С, вследствие чего давление насыщенных паров ртути над амальгамой выходит на оптимальный уровень 0,7—1,5 Па для обеспечения максимальной эффективности генерации УФ-излучения в газовом разряде. Таким образом сохраняется высокий КПД, а погонная мощность излучения повышается в 3—5 раз в сравнении с классической ртутной лампой, широко распространенной и применяемой в медицинских рециркуляторах.

Традиционная амальгамная лампа работает следующим образом [13].

При поджиге лампы на электроды подается напряжение пробоя. Зажигается тлеющий разряд, на первом этапе, пусковом режиме, в буферной смеси инертных газов.

В пусковом режиме давление паров ртути в лампе низкое, поскольку ртуть освобождается из амальгамы по мере разогрева лампы. В это время происходит интенсивная бомбардировка электродов ионами буферных газов и, как следствие, постепенное механическое разрушение эмиссионного слоя электродов.

По мере разогрева лампы давление паров ртути увеличивается, и лампа переходит в рабочий режим горения в дуговом режиме разряда в парах ртути. В это время также происходит постепенное испарение эмиссионного слоя электродов.

Ресурс лампы в первую очередь определяется ресурсом электродов, точнее, оксидного эмиссионного слоя электродов.

Процесс нанесения эмиссионного слоя на вольфрамовую проволоку может иметь различные варианты исполнения.

В традиционных амальгамных лампах оксидный эмиссионный слой имеет пористость 70—80%. Такой катод имеет очень высокий ресурс непрерывного горения в рабочем режиме, но разрушается при каждом включении, поэтому он может применяться в установках обеззараживания воды: там лампа один раз включается и потом непрерывно работает в рабочем режиме или в облучателях для обеззараживания воздуха в помещении. Но если лампа работает в режиме интенсивного обдува, который применяется в системах вентиляции и кондиционирования в транспортных средствах, то длительность переходного режима (пока амальгама не нагреется) увеличивается в три раза, а именно в этот момент происходит механическое разрушение оксидного покрытия электрода. Поэтому интенсивность разрушения оксидного покрытия за один цикл включения при обдуве примерно равен интенсивности разрушения за три включения лампы

без обдува и, следовательно, ресурс включений резко сокращается.

Условия эксплуатации лампы в установках обеззараживания воздуха в СОМ транспортных средств накладывают следующие требования к ресурсу и технологическому запасу:

- срок горения в рабочем режиме — не менее 8000 ч (7000 ч для вагонов метрополитена);
- количество включений-выключений — не менее 1500.

Все это привело разработчиков к необходимости доработать амальгамную лампу для применения на транспорте.

Экспериментально было доказано, что выполнение эмиссионного слоя оксида щелочноземельных металлов на поверхности спирали электродной сборки плотностью $50 \pm 10\%$ позволяет при работе в режиме частых включений — отключений и при интенсивном обдуве, как в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, используемых в транспортных средствах, сократить в три раза интенсивность разрушения эмиссионного слоя за один цикл включения по сравнению с плотностью слоя меньше, а также больше 50%.

Тем не менее, даже при этом происходит частичное разрушение оксидного покрытия, что может привести к вероятности выхода лампы из строя в конце гарантийного срока эксплуатации.

В связи с этим для применения на транспорте был модернизирован способ зажигания амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы в условиях ее эксплуатации в системах обеспечения микроклимата транспортных средств.

Это было достигнуто за счет того, что способ зажигания амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы выполнен посредством системы управления и включает подогрев электродов лампы с последующим приложением напряжения зажигания лампы [14]. Система управления включает первоначальный подогрев электродов путем пропускания через электроды тока в 2 А в течение 10 с с последующей подачей импульса напряжения зажигания лампы с нарастающей амплитудой от 500 до 1000 В. В случае отсутствия зажигания лампы система управления включает поочередный дополнительный подогрев электродов каждый раз также в течение 10 с с последующей подачей очередного импульса напряжения.

Преимущественно первоначальный подогрев электродов осуществляют до 700°C, а каждый последующий подогрев превышает предыдущий подогрев на 100 °С.

Количество дополнительных подогревов электродов, проводимых в течение 10 с, по мере постепен-

ного разрушения оксидного покрытия электродов, как правило, увеличивается от 1 до 5 раз.

Первоначальный подогрев электродов путем пропускания через электроды тока в 2 А в течение 10 с обеспечивает первоначальный прогрев электродов до 700°C. Такой первоначальный нагрев электродов в начальный период работы амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы, когда оксидный слой покрывающий электроды находится в неразрушенном состоянии, достаточен для зажигания лампы при подаче напряжения зажигания. При этом нагрев в 700°C и напряжение зажигания с нарастающей амплитудой от 500 до 1000 В будут достаточно щадящими для более длительного сохранения целостности оксидного покрытия электродов, что позволит в условиях интенсивного обдува продлить срок службы лампы и увеличить количество циклов включения-выключения.

В процессе эксплуатации лампы в условиях интенсивного обдува, оксидный слой электродов постепенно истончается и становится более гладким, поэтому в случае отсутствия зажигания лампы в течение первоначальных 10 с система управления включает дополнительный подогрев электродов также в течение 10 с. При этом увеличение времени нагрева свыше 10 с приводит к перегреву электродов, а следовательно и оксидного слоя, покрывающего их, ускоренно разрушая его, что негативно влияет на продолжительность эксплуатации лампы. Сокращение нагрева меньше 10 с является недостаточным для обеспечения зажигания лампы.

Превышение каждого последующего подогрева электродов на 100 °С обеспечивает более оптимальные и щадящие условия эксплуатации лампы для возможности ее эксплуатации в жестких условиях при интенсивном обдуве не менее 4 м/с в течение не менее 8000 ч непрерывной работы и до 2000 циклов включения-выключения.

Количество дополнительных подогревов электродов от 1 до 5 раз обусловлено тем, что более 5 раз проведение подогрева электродов нецелесообразно, так как в процессе эксплуатации оксидный слой разрушается и лампа становится полностью непригодной для использования и требуется ее замена. Как правило, именно после пятикратного прогрева электродов проходит не менее 8000 часов эксплуатации и до 2000 циклов включения-выключения.

Еще одной особенностью эксплуатации амальгамных ламп в УОВ в системах вентиляции и кондиционирования транспортных средств является то, что они работают в режиме интенсивного обдува.

В классической амальгамной лампе размещение амальгамы осуществляется на внутренней стенке

колбы посредством золотого пятна. В зависимости от состава амальгамы, оптимальное давление паров ртути достигается при рабочей температуре в пределах от 80 до 130°C. Температура амальгамы в таких лампах зависит от количества тепла, подводимого к амальгаме и интенсивности отвода тепла от стенки колбы лампы, находящейся под амальгамой. Характеристики закрытых бактерицидных облучателей при применении их для обеззараживания воздуха в системах вентиляции и кондиционирования транспортных средств значительно ухудшаются. В первую очередь это связано с тем, что облучатели работают в режиме обдува со скоростями от 2 до 7 м/с, вследствие чего значительно увеличивается теплоотвод от стенок лампы, а температура стенок и амальгамы уменьшается. Понижение температуры приводит к снижению давления паров ртути внутри колбы, вследствие чего падает коэффициент преобразования электрической мощности в бактерицидную. При скорости воздушного потока более 4 м/с выход ультрафиолетового излучения уменьшается в 2–5 раз.

Для решения данной проблемы применяются специальные «холодные» амальгамы, при использовании которых рабочее давление паров ртути достигается при температурах от 50 до 70°C.

Несмотря на использование в УОВ амальгамных ламп в специальном исполнении иногда не удается обеспечить требуемую эффективность обеззараживания в условиях ограничения энергопотребления. Одним из приемлемых способов повышения эффективности работы установок по обеззараживанию воздуха является увеличение отражательной способности внутренней поверхности установок за счет нанесения отражающего УФ-излучение слоя.

Отражающее покрытие камеры бактерицидного облучения помимо обеспечения высокого коэффициента отражения УФ-излучения должно отвечать следующим требованиям:

- быть устойчивым к высоким дозам УФ-облучения;
- быть стабильным в течение длительной эксплуатации;
- обеспечивать технологичность нанесения на объекты сложной формы внутренней поверхности камеры обеззараживания;
- быть безопасным.

Была разработана технология нанесения отражающего покрытия на подложку из нержавеющей стали.

При использовании УФ-ламп большой мощности узлы и элементы системы вентиляции и кондиционирования подвергаются существенному разрушающему воздействию прямого и отраженного УФ-

излучения, а выход УФ-излучения за пределы УОВ может нанести вред пассажиров. Традиционно для этого используются защитные решетки жалюзийного типа. Такие решетки ставятся на входе и выходе воздуха из УОВ.

Традиционно такие решетки изготавливаются из стали. Но сталь имеет достаточно высокий (около 30%) коэффициент отражения УФ-излучения. В результате для снижения мощности УФ-излучения, выходящего из УОВ, до безопасного уровня, требуется 5–7 переотражений излучения от элементов защитной решетки. Это приводит как к увеличению габаритов УОВ, так и к увеличению ее аэродинамического сопротивления.

Для решения этой задачи была разработана технология нанесения на элементы защитной решетки диоксида титана. Он обладает крайне низким коэффициентом отражения УФ-излучения, поэтому приемлемый уровень снижения мощности излучения достигается уже после трех переотражений.

Совокупность вышеизложенных решений позволила разработать и наладить серийное производство УОВ, полностью соответствующих медико-биологическим и общим техническим требованиям к установкам обеззараживания воздуха, применяемых в салонах транспортных средств.

В таблице сведены основные характеристики различных методов обеззараживания воздуха для применения на транспорте.

Заключение

Процедуры обеззараживания воздуха на транспорте являются объектом специального нормативного регулирования.

Полноценно функционирующая транспортная сеть пассажирского транспорта, отвечающая принятым стандартам качества, наряду с прочим является фактором экологической, санитарно-гигиенической и эпидемиологической стабильности городской среды.

Особенности подвижного состава и транспортной инфраструктуры, а именно сосредоточение большого количества людей в замкнутом пространстве в течение достаточно продолжительного времени приводит к повышенному риску негативного воздействия патогенных микроорганизмов.

Повышение эффективности, доступности и разветвленности пассажирских транспортных потоков напрямую влияет на скорость распространения инфекционных заболеваний в стране, что делает мероприятия по дезинфекции транспортных средств необходимыми для обеспечения эпидемиологической безопасности государства.

Таблица

**Основные характеристики различных методов обеззараживания воздуха
для применения на транспорте**

Параметры	Фотокатали- тические воздухоочистители	Электроэф- флювиальные устройства	Электропорационная технология «Поток»	Закрытые УФ- облучатели
Назначение	Очистка и обеззараживание воздуха	Очистка и обеззараживание воздуха	Очистка и обеззараживание воздуха	Обеззараживание воздуха
Эффективность метода в отно- шении: бактерий и вирусов	Эффективен	Эффективен	Эффективен	Эффективен
Соответствие требованиям СП 2.5.3650-20	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	Соответствует СП 2.5.3650-20
Использование в транспортных средствах	Требуются дополнительные исследования	Требуются дополнительные исследования	Требуются дополнительные исследования	Да
Экологическая безопасность технологии	+	+	+	+

Применение установок обеззараживания воздуха на транспорте должно осуществляться со строгим соблюдением технических требований, предъявляемых к этим устройствам. Это обеспечит их эффективность, безопасность и безотказность.

В настоящее время наиболее распространенным и освоенным в производстве методом обеззараживания воздушной среды подвижного состава является применение УФ-излучения. Это позволяет обеспечивать инактивацию патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов. Принципиальным отличием метода является одновременное обеспечение высокой эффективности обеззараживания и удовлетворение всем требованиям безопасности (химической, экологической, пожарной, электрической и др.), а также возможности использования метода в присутствии людей (установки закрытого типа).

Установки обеззараживания воздуха ультрафиолетовым излучением, специально разработанные для применения на транспорте, успешно применяются на транспорте в России и за рубежом, так как удовлетворяют требованиям законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия. 

Литература

1. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ.: принят Государственной Думой 12 марта 1999 года : одобрен Советом Федерации 17 марта 1999 года. - URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13636> (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.
2. СП 2.5.3650-20. Свод правил. Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры : утвержден Постановлением Главного Государственного врача Российской Федерации от 16 октября 2020 года № 30. — Консорциум Кодекс. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892?ysclid=mbopbvz0cc34064743> (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.
3. МР 2.5.0245-21. Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидемиологических требований к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры : утверждены Федеральной

службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 17 мая 2021 г. - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400685064/?ysclid=mbopj8cupb439146796> (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.

4. МР 3.5/2.5.0226-20 Санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия по обеспечению санитарно-эпидемиологической безопасности при перевозках пассажиров по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23 декабря 2020 г. - URL: <https://legalacts.ru/doc/mr-35250226-20-35-epidemiologija-dezinfektologija-25-gigiena-gigiena-i/?ysclid=mbopzjemh3762806232> (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.

5. Общие технические требования к системам обеззараживания воздушной среды подвижного состава. - Текст : непосредственный.

6. Общие технические требования к системам обеззараживания воздушной среды подвижного состава общественного автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта. - Текст : непосредственный.

7. Иванов, А. Р. О возможности создания фотокаталитических технологий очистки воздуха / А. Р. Иванов. - Текст : непосредственный // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. - 2008. - № 9 (64).

8. Чижевский, А. Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Методические указания при использовании аэроионизационными установками «Союзтехники» / А. Л. Чижевский. - Москва : Госиздат, 1959 г. - Текст : непосредственный.

9. Наголкин, А. В. «Инновационное решение обеспечения биобезопасности воздушной среды с помощью российской технологии обеззараживания воздуха «Поток» / А. В. Наголкин, М. Ф. Загидулов, Д. И. Донецкая. - Текст : непосредственный // Инновации. - 2015. - № 12 (206). - С. 106 - 110.

10. Ультрафиолетовые технологии в современном мире / Кармазинов Ф. В. [и др.] ; под редакцией Ф. В. Кармазинова [и др.]. - Долгопрудный : Интеллект, 2012. - 391 с. + 24 л. цв. илл. - Текст : непосредственный.

11. Давыдов, Д. В. Анализ нормативно-технической документации, регламентирующей требования по эффективности и безопасности использования установок обеззараживания воздушной среды на объектах транспорта / Д. В. Давыдов. - Текст : непосредственный // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической безопасности на транспорте. Сборник трудов молодых ученых и специалистов транспортной отрасли с международным участием, VII выпуск. - Москва : ВНИИЖГ. - 2025. - 290 с.

12. Давыдов, Д. В. Разработка систем и методов контроля эффективности функционирования УОВ на объектах транспорта / Д. В. Давыдов. - Текст : непосредственный // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической безопасности на транспорте : сборник трудов молодых ученых и специалистов транспортной отрасли с международным участием, VII выпуск. - Москва : ВНИИЖГ. - 2025. - 290 с. Издательство «Авторская мастерская».

13. Патент № 219927 Российская Федерация, МПК H01J 61/04 (2006.01) A61L 2/02 (2006.01). Амальгамная лампа для обеззараживания воздуха в системе вентиляции и кондиционирования транспортного средства: № 2023116940 : заявлено 27.06.2023 : опубликовано 14.08.2023 Бюл. № 23 / Кикнадзе Н. Д.; Общество с ограниченной ответственностью «ЛитТрансСервис». - 7 с. : ил. - Текст : непосредственный.

14. Патент № 2810523 Российская Федерация МПК H05B 41/14 H05B 41/14 (2006.01) Способ зажигания амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы : № 2023119249 : заявлено 20.07.2023 : опубликовано: 27.12.2023 Бюл. № 36 / Кикнадзе Н. Д.; Общество с ограниченной ответственностью «ЛитТрансСервис». - 7 с. : ил. - Текст : непосредственный.