

Обеззараживание воздуха в закрытых помещениях

Руководитель: Капустина Е.А.

Введение

Основной путь распространения таких инфекций, как грипп, острая респираторная вирусная инфекция (ОРВИ), туберкулез, коронавирус — воздушно-капельный. Например, вирус, вызывающий COVID 19, распространяется главным образом через капли аэрозоля, который образуется, когда заболевший человек кашляет, чихает или разговаривает.

Если человек заражен (хотя, возможно, и не знает об этом, поскольку не имеет симптомов), то он будет выделять вирусные частицы с дыханием, особенно с кашлем или покашливанием. При этом риск передачи инфекции невелик на открытом пространстве. На открытом воздухе вирус распыляется в неограниченном объеме. Человеческий выдох рассеивается очень быстро.

Актуальность темы подтверждает то, что особенность современной жизни в мегаполисе заключается в том, что большинство современных горожан проводят в закрытых помещениях 10-23 ч в сутки. Угроза заражения воздушно-капельными инфекциями возрастает в замкнутых пространствах, таких как магазины, автобусные остановки, общественный транспорт - даже если там немногочленно. Во всех этих случаях риск заражения велик, поскольку люди проводят значительное время в закрытом помещении в обществе других людей, среди которых могут оказаться носители инфекции.

Традиционно меры по контролю за инфекционными заболеваниями, которые распространяются воздушно-капельным путем, заключались в изоляции от общества явных носителей болезней, которые чихали и кашляли. В настоящее время в закрытых помещениях рекомендуется носить плотно прилегающие маски. Дополнительным средством предотвращения распространения инфекций может стать обеззараживание воздуха.

Целью настоящей работы является исследование современных методов и способов обеззараживания воздуха в помещениях в присутствии людей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- изучить особенности воздушной среды жилых помещений;
- на основании анализа источников литературы изучить механизмы обеззараживания воздуха;
- исследовать возможности обеззараживания воздуха в присутствии людей;
- исследовать физические, химические и комбинированные способы обеззараживания воздуха.

Методы исследования: изучение научной литературы, анализ информации производителей оборудования для обеззараживания воздуха

1 Особенности воздушной среды жилых помещений

В жилых помещениях под воздействием и с участием человека формируется своеобразный микроклимат и специфическая биота, которые, в свою очередь, оказывают влияние на его здоровье. В связи с этим, необходим постоянный контроль за абиотическими и биотическими факторами в непосредственном окружении человека.

Факторы риска имеют различное происхождение, среди них можно выделить следующие:

- а) химические;
- б) физические;
- в) биологические;
- г) архитектурно-планировочные;
- д) социальные.

Эти факторы оказывают на человека комплексное комбинированное действие, в результате чего снижается иммунный потенциал человека, возрастает заболеваемость населения.

В воздухе помещений концентрации химических и биологических аэрозолей часто достигают значительно больших величин, чем вне помещений. Таким образом, качество воздушной среды закрытых помещений как правило хуже, чем атмосферного воздуха. Количественно общий уровень химического загрязнения внутри зданий превосходит уровень загрязнения атмосферного воздуха в 1,5-4 раза в зависимости от степени загрязнения атмосферного воздуха, района размещения и интенсивности внутренних источников загрязнения. Основными внутренними источниками загрязнений являются:

- а) строительные отделочные полимерные материалы и мебель (их вклад в суммарную химическую нагрузку 30-50%);
- б) продукты жизнедеятельности людей (10-30%);
- в) работа бытовых приборов и бытовая химия (до 10%);
- г) поступление загрязненного атмосферного воздуха (20-40%).

В воздухе жилых и общественных зданий может одновременно присутствовать более 100 летучих химических веществ, относящихся к различным классам химических соединений, в том числе к предельным, непредельным и ароматическим углеводородам, галогенным углеводородам, спиртам, фенолам, простым и сложным эфирам, альдегидам, кетонам, гетероциклическим соединениям, аминосоединениям. Кроме того, в воздухе закрытых помещений обнаружены аэрозоли таких металлов, как свинец, кадмий, ртуть, медь, цинк, никель, магний, хром и др [1].

Одними из самых распространенных загрязнителей воздушной среды жилых и общественных зданий являются формальдегид и фенол. Основными источниками выделения фенола и формальдегида внутри жилища являются: мебель из ДСП, клееная фанера; изоляционные материалы на основе вспененных карбомидных смол; различные строительные материалы, содержащие фенол или формальдегидные смолы (пластиковые покрытия и некоторые виды лаков для паркета, линолеум); краски, ковровые покрытия, клеи, фиксативы для защиты и покрытия древесины; табачный дым; бытовой газ; чистящие, дезинфицирующие, полирующие, дезодорирующие, косметические вещества и т.д.

Бытовая пыль является адсорбентом и накопителем химических веществ, загрязняющих воздушную среду помещений (бензол, этилбензол, метилметакрилат,

ацетон, ксилол). В состав домашней пыли помимо частичек песка и почвы, входят текстильные волокна, волосы и эпидермис человека, шерсть домашних животных, а также пыльца растений, метаболиты синатропных организмов (животные, растения и микроорганизмы, образ жизни которых связан с человеком и его жильём, например тараканы, комнатные мухи, домовые мыши, постельные клопы) и т.д. С бытовой пылью как средой обитания тесно связаны сообщества организмов— бактерии, сине-зеленые водоросли, грибы (плесневые и дрожжевые), актиномицеты, а также различные членистоногие. Сочетание воздействия комплекса веществ и аллергенов домашней пыли приводит к развитию бурной реакции иммунного типа. Комплекс химических веществ, загрязняющих воздушную среду жилых и общественных зданий, является активным стимулятором аллергенных свойств домашней пыли.

Аллергены продуцируют домашние животные (кошки, собаки), синатропные грызуны (мыши, крысы, морские свинки, хомяки). Аллергены содержатся в перхоти, слюне, моче, выделениях секреторных желез животных. Основным источником аллергенов домашней пыли являются клещи. Их аллергены содержатся в линочных шкурках, метаболитах. Чаще всего это пищеварительные ферменты.

Биологическими загрязнителями также являются живые и мертвые организмы, часто питающиеся и размножающиеся в жилых помещениях, и продукты их жизнедеятельности. Многие из них являются составляющими биоаэрозоля воздуха помещений (вирусы, бактерии, споры, фрагменты мицелия и метаболиты плесневых грибов, фекальные шарики и фрагменты клещей домашней пыли и т.д.) и, наряду с химическими загрязнителями, определяют качество воздуха жилых помещений. Воздействие их на организм человека может привести к аллергическим или токсическим реакциям, а также инфекционному процессу.

Особое место в биоценозах жилых помещений занимают грибы (плесневые, дрожжи), поскольку многие виды продуцируют аллергены, токсины и могут быть причиной микозов, особенно, бронхо-легочных. Многие грибы как источник аллергенов в жилище человека занимают второе место после клещей. Плесневые грибы распространены практически всюду. Они обнаруживаются, как в жилище человека, так и во внешней среде. Плесень и ее споры вместе с другими микроорганизмами (вирусами, бактериями) обнаруживаются в воздухе любого помещения, как отдельно, в виде мелких частиц, так и в виде агрегатов различного размера, а также в форме микровключений в другие пылевые частицы. Основными источниками появления плесневых грибов внутри жилищной среды является:

- а) атмосферный воздух;
- б) пораженные плесенью стеновые панели жилых помещений;
- в) ванны комнаты с неработающей системой вентиляции и высоким уровнем влажности воздуха;
- г) домашняя пыль как депо содержания спор различных родов грибов.

К инфекционным агентам относятся бактерии и вирусы, вызывающие такие заболевания как туберкулез, ветряная оспа, корь, грипп, ковид19 и др.

Для успешного роста микробиологических синатропных сообществ, необходимо, главным образом, два условия: пищевой субстрат и влажность. В современном строительстве зданий используют разнообразные конструкции и материалы, которые уменьшают сообщение помещений с внешней средой и увеличивают влажность воздуха

(стеклопакеты на окнах, отсутствие активной вытяжки в кухне, ванной и т.д.). Использование кондиционеров, пылесосов с функцией влажной уборки, увлажнителей воздуха и т.д. также приводит к нарастанию влажности в помещении. В жилых помещениях формируются специфические сообщества клещей, плесневых и дрожжевых грибов, которые отличаются от природных биоценозов структурой доминирования, уровнем численности и ее сезонной динамикой. Существует группа заболеваний, объединенных под общим названием «синдром больных зданий» — «*Sick building syndrome*», которыми страдают люди длительное время, находящиеся в пораженных плесневыми грибами помещениях. Некоторые микроорганизмы, проникая в помещение, циркулируют в вентиляционных системах (*Legionella pneumophila*), вызывая заболевание похожее на пневмонию.

Таким образом, в жилых помещениях формируется комплексный биоаэрозольный фон, в состав которого входят различные бактерии, а также споры плесневых грибов и их метаболиты. Основным фактором передачи условно-патогенных микробов во время пребывания людей в закрытом помещении является воздушная среда.

2 Анализ современных способов обеззараживания воздуха

Технологии очистки и обеззараживания воздуха различаются в зависимости от используемого оборудования, химических реагентов, влияния на человека, животных и растения, а также по эффективности. Обеззараживание — это уничтожение возбудителей опасных инфекционных заболеваний, присутствующих во внешней среде.

Одним из видов обеззараживания является дезинфекция — комплекс мероприятий, направленный на уничтожение возбудителей инфекционных заболеваний и разрушение токсинов на объектах внешней среды. Дезинфекция помещения как правило подразумевает влажную уборку для удаления пыли и различных загрязнений водой или с использованием химических средств [2].

Выполнить полную дезинфекцию воздуха в помещении в присутствии человека невозможно, поэтому под обеззараживанием воздуха, как правило, понимают инактивацию вредных составляющих. Инактивация — частичная или полная потеря биологическим агентом своей активности.

Инактивация проходит следующим образом, например, внутри прибора для очистки воздуха вырабатывается вещество или происходит физическое воздействие, которое разрушает активные структуры болезнетворных микроорганизмов, лишая их способности к размножению.

Этот принцип используется во многих очистителях воздуха или воды. Рассмотрим возможные способы инактивации микроорганизмов чтобы определить, какой из способов инактивации будет не только эффективным, но и безопасным для человека.

1.1 Физические способы

Действие физических способов и средств обеззараживания основано на уничтожении или удалении микроорганизмов из воздушной среды путем физического воздействия. В настоящее время существует несколько способов для обеззараживания воздуха в закрытых помещениях в присутствии людей.

1.1.1 Ультрафиолетовое облучение

Ультрафиолетовое излучение охватывает диапазон длин волн от 100 до 400 нм оптического спектра электромагнитных колебаний. В зависимости от биологической активности это диапазон условно разбит на три области: УФ-А (315 - 400 нм), УФ-В (280 - 315 нм), УФ-С (100 - 280 нм).

Бактерицидной активностью обладает УФ-излучение всех диапазонов, но максимально выраженный эффект принадлежит коротковолновым лучам с длиной волн 205÷315 нм, воздействие которого нежелательно для человека. С увеличением длины волны бактерицидность резко снижается. Максимум бактерицидного действия УФ-излучения приходится на длину волны 265 нм [3].

Ультрафиолетовое излучение обладает значительным антимикробным действием на разные виды микроорганизмов, включая бактерии, вирусы, споры и грибы. Антимикробное действие ультрафиолетового излучения, являющегося частью спектра электромагнитных волн оптического диапазона, проявляется в деструктивно модифицирующих фотохимических повреждениях ДНК в клеточном ядре микроорганизмов, что приводит к гибели микробной клетки в первом или последующем поколении [4].

Бактерицидная эффективность УФ-облучения, обозначаемая как $J_{бк}$, количественно характеризуется процентным отношением числа погибших микроорганизмов N_k к их исходному числу N_n и описывается формулой

$$J_{бк} = \frac{N_k}{N_n} \times 100\%.$$

В таблице 1 приведены значения объемной бактерицидной дозы, обеспечивающие достижение эффективности обеззараживания до 90 и 99,9%. На основе этих данных можно определить величину необходимой дозы УФ-облучения для достижения желаемого эффекта при присутствии в воздухе каких-либо видов микробов.

Таблица 1. Антимикробная доза УФ-излучения для некоторых видов микроорганизмов [3]

Виды микроорганизмов	Доза УФ-облучения, Дж/м ³ , при $J_{бк}\%$	
	90,0	99,9
<i>Aspergillus glaucus</i>	1420	5770
<i>Clostridium sp.</i>	316	1283
<i>Escherichia coli</i>	79	385
<i>Paramecium sp.</i>	1640	11660
<i>Micobacterium tuberculosis</i>	145	583
<i>Salmonella sp.</i>	142	583
<i>Shigella dysenteriae</i>	58	245
<i>Staphylococcus aureus</i>	130	385

Одно и тоже значение дозы может быть достигнуто при различном сочетании бактерицидного потока и длительности облучения. При оценке бактерицидной эффективности ультрафиолетового облучения воздушной среды помещения в качестве санитарно-показательного микроорганизма принимается *Staphylococcus aureus*

(Золотистый стафилококк). Однако, как видно из таблицы 1, существуют микроорганизмы, для обеззараживания которых необходима значительно более высокая антимикробная доза ультрафиолетового излучения. Значительное снижение дозы облучения может стимулировать рост микроорганизмов.

Под действием УФ-лучей гибнут все виды микроорганизмов, однако чувствительность их различна. С ее увеличением распределение микроорганизмов можно представить следующим образом: грамотрицательные бактерии, грамположительные, возбудитель туберкулеза, споры бактерий и плесневых грибов. Вместе с тем, имеются существенные различия внутри видов и даже между молодыми и старыми культурами одного штамма. Известны также данные о проявлении механизмов защиты микробной клетки от летального действия УФ-лучей, получивших название фотореактивации. В любой живой клетке существуют механизмы, способные полностью или частично восстанавливать исходную структуру поврежденной молекулы ДНК. Благодаря радиационному мутагенезу, уцелевшие микроорганизмы способны образовывать новые колонии с меньшей восприимчивостью к облучению.

Характерной особенностью эффектов, вызываемых УФ-лучами, является их возможная обратимость — повреждения микроорганизмов под воздействием УФ-радиации не реализуются немедленно после облучения, а являются потенциальными и могут быть репарированы, т.е. микробная клетка может восстановиться. Ускорению этих процессов способствуют видимый свет, контакт облученных микроорганизмов с субстратами питания, пониженная температура после облучения и др. Указанные обстоятельства необходимо учитывать при выборе типа освещения для помещений, которые предполагается обрабатывать УФ-лучами.

Работа бактерицидных систем, достаточная для обеззараживания поверхностей, не всегда эффективна в случае обеззараживания воздуха. Эффект уничтожения микроорганизмов УФ-лучами в воздухе зависит от интенсивности и продолжительности облучения, относительной влажности воздуха, вида и характера взвешенных в воздухе микроорганизмов, уровней загрязненности воздуха, степени экранирования микроорганизмов пылью и органическими веществами.

Высокая биологическая активность ультрафиолетового излучения требует тщательного контроля бактерицидной облученности на рабочих местах. Бактерицидное излучение при его попадании на открытые участки тела человека (особенно в глаза) может вызвать сильные ожоги, поэтому рекомендуется использовать бактерицидные лампы для обеззараживания помещений только в отсутствие людей [3].

При работе бактерицидных ламп в воздушной среде помещения возможно образование озона свыше предельно допустимой концентрации. Это обстоятельство требует проведения систематического контроля концентрации озона в воздушной среде помещения, в котором установлены бактерицидные облучатели на соответствие существующим нормам [1].

Кроме того, что при воздействии УФ-лучей на воздух внутри помещения состав его микрофлоры меняется в сторону относительного увеличения доли устойчивых к данному фактору видов, которые являются также в большинстве случаев резистентными также и к химическим агентам, а образующиеся при воздействии УФ-облучении озон и окислы азота опасны для организма человека.

При использовании УФ-излучения лимитирующим фактором является предельно допустимая доза для людей, а не доза, требуемая для уничтожения микроорганизмов и вирусов. Негативное воздействие выделяющегося озона на организм человека, повышение токсичности воздуха и прочие факторы не позволяют говорить о полной экологической безопасности этого метода.

1.1.2 Фильтрация

В настоящее время фильтрация является одним из наиболее распространенных методов, применяемым для создания биологически «чистых» помещений и локальных «чистых» рабочих зон. «Чистое» помещение — это помещение, снижающее до минимума поступление, генерацию и накопление частиц. При использовании метода фильтрации это достигается подачей в помещение больших объемов воздуха, фильтруемого высокоэффективными фильтрами. Воздух подается для разбавления и удаления частиц и микроорганизмов, выделяемых персоналом и технологическим оборудованием, установленным в помещении, а также для того, чтобы создать в помещении избыточное давление и гарантировать защиту чистого помещения от попадания загрязненных воздушных потоков извне.

Наибольшее применение для высокоэффективной очистки воздуха находят фильтры на основе тонковолокнистых волокон. Чистота воздуха обеспечивается многоступенчатой фильтрацией воздуха с применением на последнем этапе высокоэффективных фильтров типа HEPA (High Efficiency particulate air filters). Эффективность HEPA фильтров в задержании механических частиц составляет не менее 99,97% для частиц размером до 0,3 мкм [5].

Основными характеристиками фильтров являются показатели эффективность и коэффициента проскока.

Коэффициент проскока (P , %) или проницаемость — характеристика фильтра или фильтрующего материала, равная процентному отношению концентрации частиц после фильтра $N_{п}$ к концентрации частиц до фильтра $N_{д}$:

$$P = \frac{N_{п}}{N_{д}} \times 100\%.$$

Эффективность (E , %) — характеристика фильтра или фильтрующего материала, равная процентному отношению разности концентрации частиц до $N_{д}$ и после фильтра $N_{п}$ к концентрации частиц до фильтра $N_{д}$:

$$E = \frac{N_{д} - N_{п}}{N_{д}} \times 100\%.$$

Важнейшей характеристикой фильтра является срок его эксплуатации. В процессе эксплуатации фильтра происходит изменение его аэродинамических характеристик. Сопротивление воздушному потоку возрастает из-за оседания аэрозольных частиц на фильтрующем материале. Слой пыли, накапливающийся из осевших частиц, со временем затрудняет прохождение воздуха сквозь фильтр. Давление воздуха на фильтр возрастает и требует специальной системы контроля, иначе избыточное давление может "продавливать" частицы сквозь фильтр.

Скапливающиеся на фильтре микрочастицы создают благоприятную среду для размножения бактерий. Если в дополнение к этому увеличивается влажность, то фильтр

становится инкубатором для сохранения, роста и размножения бактерий, вирусов и грибов. Таким образом, сам фильтр превращается в угрозу для окружающей среды, т.к. в фильтрующих системах отсутствует механизм инактивации биологических частиц. Если фильтр не заменить вовремя, то на нем может происходить размножение патогенных микроорганизмов и последующее их распространение токами воздуха, подаваемого в помещение.

1.1.3 Ионизация

Ионизация — образование положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. Атмосферный воздух, которым мы дышим, всегда несет на некоторых молекулах электрические заряды. Процесс возникновения заряда на молекуле называется ионизацией, а заряженная молекула — легким ионом или аэроионом. Если ионизированная молекула осела на частице жидкости или пылинке, то такой ион называется тяжелым. Ионы воздуха бывают двух зарядов — положительными и отрицательными.

Искусственная ионизация воздуха состоит в создании во внутренней среде помещений атмосферного электричества — аэроионов. Ионизатор создает поток электронов, которые, соединяясь с электрически нейтральными молекулами кислорода, ионизируют их. Ионизация происходит под действием электрического поля высокой напряженности, которое появляется в системе из двух электродов, имеющих разные размеры. Один электрод имеет малый радиус кривизны и представляет собой острие или иглу. Вторым электродом могут быть любые поверхности: пол, потолок, различные предметы и даже человек. Для получения электрического на острие подается высокое напряжение отрицательной полярности. При этом из иглы вырываются электроны, которые сталкиваясь с молекулой кислорода, образуют отрицательный ион. Отрицательные аэроионы разлетаются от острия ко второму, положительному электроду, по направлению силовых линий электрического поля.

Микрочастицы, находящиеся в воздухе, обычно имеют нейтральный заряд. После включения ионизатора большая часть пылевых частичек приобретает отрицательный заряд и стремится упасть на поверхность. Заряженные пылевые частицы начинают двигаться вдоль силовых линий электрического поля по направлению к противоположно (положительно) заряженному полюсу. Поток аэроионов осаждает пыль, очищая, тем самым, воздух внутри помещения.

Искусственная аэроионизация имеет некоторые особенности. В результате загрязнения окружающей среды в воздухе присутствуют различные примеси, в том числе и такие, как оксиды азота, аммиак, диоксиды углерода и много других. Газовый состав воздушной среды в природе отличается от газового состава внутренней среды зданий. Из-за этого искусственная аэроионизация в помещениях никогда не сможет заменить собой природный воздух. Даже длительная работа ионизатора не может обеспечить равномерное распределение аэроионов в замкнутом объеме. Их концентрация максимальна вблизи ионизатора и уменьшается по мере удаления от прибора. Объясняется это ограниченным временем существования аэроионов.

Ряд ограничений на работу ионизатора накладывает присутствие людей в помещении. В воздухе кроме пыли находятся и микроорганизмы. При работе ионизатора отрицательные

ионы заряжают пыль и микрофлору, которые осаждаются не только на стенах помещения, но и на коже, слизистой оболочке дыхательных путей и в лёгких людей, присутствующих в помещении. Если в помещении, с работающим ионизатором, среди других людей, находится человек, больной воздушно-капельной инфекцией, то риск заражения окружающих многократно повышается.

При работе ионизаторов на электродах скапливаются аэрозольные частицы и микроорганизмы. Микроорганизмы на поверхности электродов не инактивируются, остаются живыми, способными к размножению и могут возвращаться обратно в воздушную среду. Для снижения риска инфицирования воздуха необходимо постоянно дезинфицировать поверхности электродов. Постоянная очистка электродов также необходима для поддержания эффективности работы устройства, так как накопление частиц на поверхности электродов приводит к снижению работоспособности ионизатора.

При работе аэроионизаторы за счет коронного разряда излучают ультрафиолетовое излучение коротковолнового диапазона, а это может приводить к увеличению содержания в воздухе озона и окислов азота высоких концентрациях. Озон является токсичным для человека газом. При наличии в воздухе окислов азота токсичность озона увеличивается.

Таким образом, использование ионизации в целях обеззараживания воздуха не является эффективным. Последствия длительного применения ионизаторов в помещениях с людьми могут быть не прогнозируемыми и требуют качественного и количественного контроля ионного и газового состава воздуха.

1.2 Химические способы

Известно, что многие химические вещества тормозят или полностью подавляют рост микроорганизмов. Бактерицидное действие многих соединений может проявляться и без поступления их внутрь микроорганизмов. Они влияют на физиологические функции цитоплазматической мембраны, после чего микробная клетка теряет способность к размножению. Некоторые тяжелые металлы (медь, серебро, ртуть и др.) уже в низкой концентрации действуют как сильные ферментные яды. В виде солей, а также в форме органических соединений они могут изменять структуру молекулы.

Основным требованием к химическим обеззараживающим агентам является отсутствие токсического воздействия на человека. Рассмотрим способы химического обеззараживания воздуха.

1.2.1 Фотокатализ

Принцип фотокаталитических фильтров действия основан на том, что на поверхности катализатора под действием ультрафиолетового излучения происходит окисление органических веществ. Реакция протекает при комнатной температуре, а токсичные примеси разрушаются до двуоксида углерода, воды и азота. В процессах очистки воды и воздуха от органических примесей в качестве фотокатализатора используют диоксид титана TiO_2 или модифицированный диоксид титана.

На практике фотокаталитический очиститель воздуха включает в себя пористый носитель с нанесенным TiO_2 , который облучается светом и через который продувается воздух. Органические молекулы из потока адсорбируются на поверхности

фотокатализатора, нанесенного на пористое стекло (фотокаталитический фильтр), и окисляются до углекислого газа и воды под действием света от УФ-лампы.

Основное назначение фотокаталитических устройств – это очистка воздуха от токсических примесей. К настоящему моменту показано, что на поверхности TiO_2 , могут быть окислены (минерализованы) до CO_2 и H_2O практически любые органические соединения.

При работе фотокаталитической установки происходит постоянное воздействие на газовый состав воздуха и в помещении, особенно с плохой вентиляцией, будет быстро накапливаться CO_2 с превышением ПДК.

Уничтожение микроорганизмов в фотокаталитических фильтрах происходит в результате химического воздействия на микроорганизмы, находящиеся в воздушном потоке, перекиси водорода (H_2O_2), и других радикалов ($\cdot OH$), ($O_2\cdot^-$), образующихся при фотокаталитической реакции. Для успешного проведения процесса инактивации микробных клеток требуется обеспечение нескольких условий.

Во-первых, необходим контакт клетки микроорганизма с химическим агентом (H_2O_2), ($\cdot OH$), ($O_2\cdot^-$) и др. на поверхности фотокаталитического слоя (может обеспечиваться не во всех случаях). Во-вторых, нужна определенная концентрация и активность химического агента, а также необходимо обеспечить время воздействия химического агента на клетку. Результаты исследований показывают, что эффективность процесса инактивации микроорганизмов зависит от вида микроорганизма, его резистентности к фотокаталитическому воздействию и продолжительности воздействия.

Кроме того, потребителю требуется контролировать чистоту и целостность фотокаталитического слоя (толщина ~ 5 мкм), т. к. он расходуется в процессе работы. Для обеспечения эффективной работы фотокаталитического очистителя необходимо поддержание заданной интенсивности облучения ультрафиолетовых ламп. Нужно следить за состоянием лампы и поддерживать чистоту ее поверхности, обеспечивать необходимые параметры внешней среды (температуру и влажность воздуха), напряжение в сети и другие параметры. Таким образом, в конструкции фотокаталитических очистителей воздуха необходимо обязательное применение фильтра предварительной очистки воздуха от пыли для дополнительной очистки воздуха и защиты носителя с фотокатализатором и ультрафиолетовой лампы от механического загрязнения. Эти фильтры требуют регулярной замены и очистки, и в свою очередь могут служить источником инфицирования потребителя и сервисного персонала, а также требуют специальных мероприятий по хранению и утилизации.

В фотокаталитических обеззараживателях воздуха используется мягкое УФ-излучение с длиной волны 320-400 нм. УФ-излучение с такой длиной волны не имеет бактерицидного эффекта, бактерицидный эффект наблюдается в диапазоне длин волн 200...300 нм. Фотокаталитический слой TiO_2 без УФ облучения также не имеет бактерицидного эффекта. Поэтому повреждение одного из этих элементов или изменение параметров их работы может привести к потере работоспособности установки.

1.2.2 Озонирование

Озон (O_3) — аллотропная форма кислорода. Озон является мощным окислителем органических загрязняющих веществ, которые разрушаются при контакте с ним. Молекула

озона состоит из трех атомов кислорода и имеет более длинные связи между атомами кислорода [6].

При воздействии озона погибают все известные виды грамположительных и грамотрицательных бактерий, включая синегнойную палочку и легионеллу, все липо- и гидрофильные вирусы, включая вирусы гепатита А, В и С и ВИЧ, споры и вегетативные формы всех известных патогенных грибов. Разрушение микроорганизмов и внутриклеточных паразитов происходит, во-первых, за счет воздействия озона на клеточные мембраны, а, во-вторых, за счет окисления рецепторов, с помощью которых паразит внедряется в клетку хозяина. Воздействие озона на клеточные мембраны бактерий вызывает окисление, а точнее, образование пероксидов из фосфолипидов и липопротеинов клеточной мембраны бактерий, в результате чего происходит ее разрыв. Грамположительные бактерии более чувствительны к озону, чем грамотрицательные, что, по-видимому, связано с различием в строении их оболочек [4].

При воздействии озона на вирусы происходит повреждение полипептидных цепей оболочки вируса, что приводит к нарушению способности вируса прикрепляться к клеткам – мишеням хозяина, а также к расщеплению нити нуклеиновой кислоты, вследствие чего вирус теряет способность к репликации и гибнет. Капсулированные вирусы более чувствительны к действию озона, чем некапсулированные. Это объясняется тем, что капсула содержит много липидов, которые легко взаимодействуют с озоном.

При воздействии озона на мицелий патогенных грибов изменениям сначала подвергаются внешние структуры мицелия (цитоплазматическая мембрана), а затем в процесс вовлекаются внутриклеточные мембранные структуры и органеллы. В результате этого воздействия гифы патогенных грибов становятся плоскими, перекрученными и сморщенными, в них возникают дефекты клеточной стенки вплоть до полной деструкции всех компонентов клеточной структуры гриба.

Эффективность действия озона на микроорганизмы зависит от его концентрации, экспозиции, температуры, влажности, рН и исходной обсемененности обеззараживаемого воздуха. Различные виды микроорганизмов обладают неодинаковой чувствительностью к озону. Бактерицидные свойства озона усиливают оксиды азота (N_2O , N_2O_5 , NO и др.).

При низких концентрациях озон не очень эффективен для уничтожения бактерий, т.к. они имеют способность восстанавливаться спустя некоторое время после обработки. Низкие концентрации озона стимулируют восстановление и размножение клеток микроорганизмов, способствуют восстановлению их нарушенных функций. Низкие концентрации озона оказывают лишь поверхностное действие на внешнюю оболочку клетки и не может проникнуть вглубь. Для полной инактивации микрофлоры помещения требуется высокая концентрация озона и длительное время для контакта с микроорганизмами.

Основным недостатком озонирования является токсичность озона для человека при вдыхании. Озон раздражает слизистую оболочку глаз и дыхательных путей. Озон ядовит, имеет очень низкую предельно-допустимую концентрацию в воздухе, соизмеримую с ПДК боевых отравляющих веществ и поэтому необходим тщательный контроль его содержания в окружающей среде. Требуемая для уничтожения патогенных агентов концентрация озона в несколько раз превышает ПДК для человека. Таким образом, для обеззараживания воздуха помещений в присутствии людей генератор озона служить не может.

1.2.3 Бактерицидные аэрозоли

Воздух представляет собой естественный аэрозоль. Подавляющее количество микроорганизмов находится в пылевой среде. Микробы, как правило, могут накапливаться в частицах пыли, концентрируясь в труднодоступных местах, перемещаются воздушными потоками, создавая потенциальные очаги инфекции. В результате устойчивости ряда возбудителей инфекционных заболеваний во внешней среде происходит массовое инфицирование с пылью различных труднодоступных мест. Аэрозольный способ дезинфекции направлен на обеззараживание всех мест, куда мог попасть возбудитель инфекции. При использовании бактерицидных аэрозолей дезинфицирующее средство переводится в мелкодисперсное состояние и периодически вводится в воздушную среду помещения. Для достижения эффекта обеззараживания аэрозоль должен заполнить весь объем помещения, и постепенно осесть мельчайшими каплями на поверхностях: стены, пол, оборудование, различные предметы.

Бактерицидное действие аэрозолей основано на двух процессах:

- Испарение частиц бактерицидного аэрозоля и конденсация его паров на микроорганизмах, находящихся в воздухе;
- Образование бактерицидной пленки на поверхностях при попадании на них неиспарившихся частиц бактерицидного аэрозоля.

Бактерицидное действие аэрозоля обеспечивается не только в результате столкновения его частиц с микрофлорой, но и в основном под действием диффузии паров дезинфицирующего раствора в микробиологические частицы. Микробные клетки служат ядром конденсации при взаимодействии ней парообразного аэрозоля.

При этом небольшие количества бактерицидного аэрозоля активно действует на взвешенные в воздухе отдельные клетки микроорганизмов, скопления из нескольких клеток, а также на микроорганизмы, находящиеся в капельках слизи или высохших частиц.

Проведение профилактической дезинфекции в присутствии людей с помощью химического воздействия возможно при соблюдении ряда требований. Обеззараживающее вещество не должно быть токсичным, раздражать слизистую оболочку, обладать неприятным запахом, корродировать с металлами, воспламеняться. В то же самое время вещество должно обладать высокой биоцидной активностью по отношению к любым микроорганизмам.

1.3 Комбинированные способы

1.3.1 Совместное использование ультрафиолетового излучения и фильтрации

Для применения в системах вентиляции и кондиционирования больниц и лечебно-профилактических учреждений разработаны установки, совмещающие такие два способа обеззараживания воздуха, как ультрафиолетовое бактерицидное облучение и фильтрация [7]. Считается, что в таких системах УФ-лучи постоянно пронизывают фильтр, и таким образом уничтожают все микроорганизмы, задержанные фильтром.

HEPA-фильтр представляет собой гофрированный нетканый материал, окруженный рамкой, и монолитно соединенный с ней. Ширина складки гофра около 2 мм, а вот глубина до 60 мм. Материал представляет собой прессованное стекловолокно, которое прекрасно

поглощает ультрафиолет. Основная площадь фильтра затенена складками и прямое воздействие на нее УФ-облучения невозможно, как и отраженное, из-за способности стекловолокна поглощать УФ-лучи. Таким образом, как бы велико не было время облучения, обеззараживания всей поверхности фильтра не произойдет. Кроме того, эффективность ультрафиолетового облучения зависит уровней загрязненности воздуха, степени экранирования микроорганизмов пылью и органическими веществами. Даже тонкий слой пыли существенно задерживает поток излучения.

При установке ультрафиолетовой лампы над внутренней поверхностью фильтра возникает ложное чувство безопасности, которое, при работе с патогенными агентами и микроорганизмами, может оказаться опасным.

Кроме того, необходимо обеспечение специальных условий при замене и утилизации прогоревших срок службы ламп. В случае неосторожного обращения возможно попадание ртути в систему вентиляции здания. При попадании ртути в помещение должна быть проведена тщательная демеркуризация, что может быть очень сложно сделать при распространении ртути в здание через систему воздуховодов.

1.3.2 Технология «Поток»

В основе технологии «Поток» лежит принцип физического обеззараживания воздуха [8].

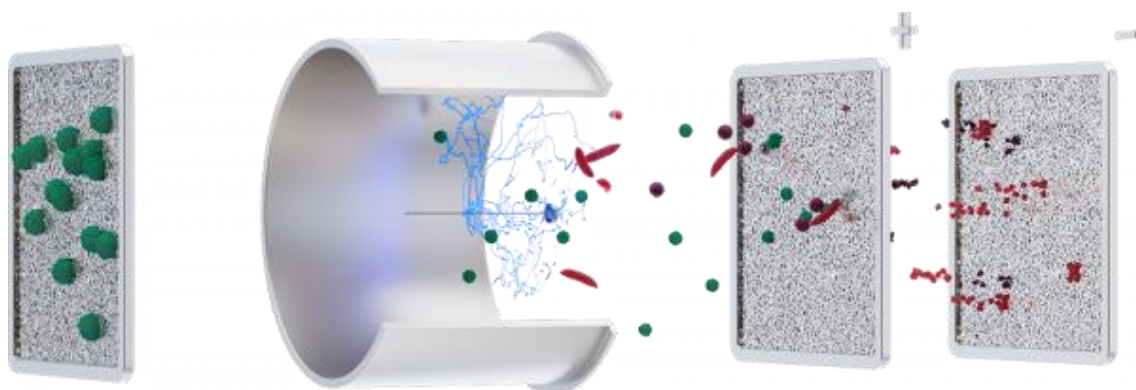


Рисунок 1 — Принцип действия технологии «Поток»

Технология «Поток» включает следующие этапы:

1) Обеззараживание воздуха

Обеззараживание воздуха осуществляется с помощью воздействия на микробные клетки, находящиеся в обрабатываемом воздухе, постоянными электрическими полями низкой напряженности.

Воздушный поток проходит через поперечно расположенные воздухопроницаемые электроды, изготовленные из высокопористого электропроводного материала (пенометалла). Электроды имеют чередующуюся полярность.

В зарядных камерах происходит многократная перезарядка находящихся в нем микроорганизмов и твердого аэрозоля, в результате чего происходит инактивация микробов и вирусов.

В зоне фильтрации происходит улавливание обломков разрушенных микробных клеток, аллергенов и находящегося в обрабатываемом воздушном потоке твердого аэрозоля на электростатическом осадителе.

2) Инактивация

Разрушение клеточных микроорганизмов

На микроорганизмы, находящиеся в обрабатываемом воздухе, осуществляется воздействие постоянными разнонаправленными электрическими полями низкой напряженности. В результате такого воздействия происходит изменение величин и знаков электрических потенциалов на поверхности и внутри клетки. Клеточная оболочка деформируется, в ней появляются крупные поры, которые образуют множественных разрывов, через которые вытекает цитоплазма, и микроорганизм разрушается. Возникают необратимые дефекты клеточных структур, приводящее к гибели микроорганизма.

Разрушение вирусов

Воздействие постоянного электрического поля приводит к тому, что положительно заряженные части молекул нуклеиновой кислоты (входящих в состав вируса) движутся к отрицательному электроду, а отрицательно заряженные – к положительному. Из-за того, что направление воздействия многократно меняется, разрываются межмолекулярные связи, нарушая тем самым структуру белка. Это приводит к разрушению не клеточных оболочек, но и к необратимой деградации белковых структур безоболочных микроорганизмов

3) Фильтрация

В качестве фильтра используется высокопористый ячеистый материал с открытыми ячейками. Диэлектрические пористые пластины размещены между электродами и предназначены для осаждения разрушенной биомассы, аэрозолей.

Эффективность технологии подтверждается многолетним опытом использования установок обеззараживания воздуха «Поток» в космической отрасли. С 1995 г. одна из модификаций установки «Поток 150МК» использовалась для решения задачи снижения уровня микробной обсемененности воздуха на борту орбитального комплекса «Мир». В настоящее время установка обеззараживания воздуха «Поток 150МК» на Международной космической станции в качестве штатной системы обеспечения микробиологической чистоты воздуха.

1.3.3 Активная фильтрация ТИОН

Тион – комплексная технология обеззараживания и очистки, комбинирующая физические и химические способы обеззараживания, которая позволяет фильтровать воздух с высокой эффективностью и обеспечивать полную инактивацию всех находящихся в нем микроорганизмов, но и очищать воздух от основных вредных веществ в газовой фазе [9]. Технология Тион основана на совместной работе фильтров и эффективно справляется со всеми загрязнениями воздуха. По данным производителя комбинированное действие позволяет решать различные задачи по обеззараживанию и очистке воздуха, в том числе те, которые не могут быть решены с помощью традиционных средств, таких как: тканевые или бумажные НЕРА-фильтры, бактерицидные секции на основе ультрафиолета, сорбционные, электростатические фильтры и их комбинации.

Принципиальная схема устройства Тион представлена на рисунке 2.

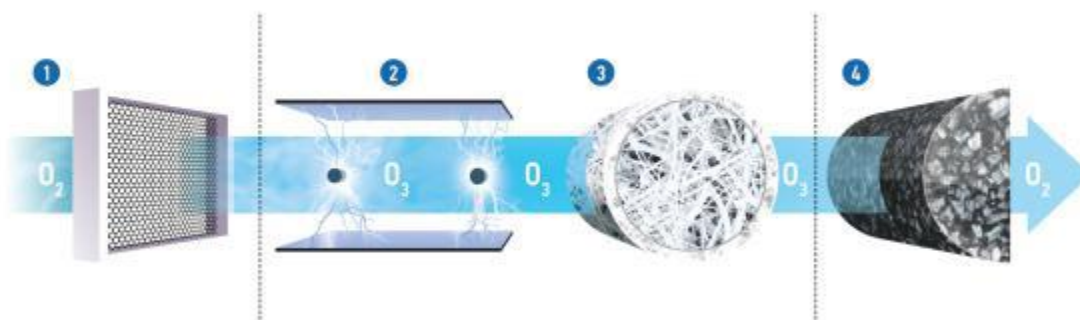


Рисунок 2 — Принцип действия технологии ТИОН

Технология ТИОН включает следующие этапы:

Стадия предварительной фильтрации

1) Предфильтр: обеспечивает предварительную очистку воздуха, задерживает крупные частицы загрязнений: пыль, пух, сажа и т.д.

Стадия активной HEPA-фильтрации

2) Электростатический блок: заряжает частицы микрозагрязнений (механические аэрозоли) и биоаэрозоли. Заряженные частицы притягиваются к волокнам объемного HEPA-фильтра, изготовленного из стекловолна.

3) Объемный HEPA-фильтр: в сочетании с электростатическим блоком обеспечивает захват частиц, аэрозолей и микроорганизмов с высокой эффективностью фильтрации.

В электростатическом блоке за счет наличия высокого напряжения возникает озон, который обеспечивает инактивацию всех микроорганизмов, задержанных на объемном HEPA- фильтре.

Стадия очистки от вредных газов

4) Адсорбционно-каталитический блок: производит глубокую очистку воздуха от вредных примесей с помощью специальной смеси сорбентов и катализаторов. Озон также полностью разрушается адсорбционно-каталитическим блоком и не попадает в помещение.

5) Блок автоматического управления используется для контроля за состоянием фильтрационного устройства.

Выводы

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) Основным фактором передачи условно-патогенных микробов во время пребывания людей в закрытом помещении является воздушная среда.

2) В результате анализа особенностей формирования микрофлоры воздушной среды жилых помещений можно сделать вывод, что с участием человека в помещениях формируется своеобразный микроклимат и специфическая биота, оказывающие влияние на его здоровье.

3) Технологии очистки и обеззараживания воздуха различаются в зависимости от используемого оборудования, химических реагентов, влияния на человека, животных и растения, а также по эффективности.

4) Наиболее эффективными являются комбинированные способы обеззараживания воздуха, сочетающие действие физических и химических способов.

Литература

1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — М., 1988.
2. ГОСТ 25375-82. Методы, средства и режимы стерилизации и дезин-фекции изделий медицинского назначения. Термины и определения.— М. 1982.
3. Методические указания по применению бактерицидных ламп для обез-зараживания воздуха и поверхностей в помещениях// Светотехника.—М., 1995.— №6.— С. 2-19.
4. Медицинская микробиология / под ред. В.И. Покровского — М., 1998.
5. ГОСТ Р 51251-99 Фильтры очистки воздуха. Классификация. Марки-ровка.— М., 1999.
6. Озон , физико-химические свойства, применение <http://proektm.ru/encicl/ozon.html> [электронный ресурс], дата обращения: 24.02.2021.
7. Борисоглебская А.П. Современные методы обеззараживания воздуха в помещениях [электронный ресурс], дата обращения: 24.02.2021, https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4242/.
8. Технология “Поток” <https://potok.com/ru> [электронный ресурс], дата обращения: 24.02.2021.
9. ТИОН официальный сайт <https://tion.ru/blog/inaktivatsiya-kak-sovremennye-pribory-dlya-ochistki-vozdukha-boryutsya-s-virusnymi-infektsiyami/> [электронный ресурс], дата обращения: 24.02.2021.