

УФ-обеззараживание воздуха и поверхностей: практические подходы, режимы и ограничения

Что такое УФ-обеззараживание воздуха и поверхностей и зачем оно нужно в помещениях?

Ультрафиолетовое обеззараживание в помещениях решает две задачи сразу: снижает концентрацию жизнеспособных микроорганизмов в воздушной среде и ограничивает перенос инфекции через контакт с предметами. На практике применяют два рода решений — для воздуха и для поверхностей, причём оборудование часто универсально и может работать в обоих режимах. Обеззараживание поверхностей бактерицидным излучением используют с 1930-х годов и особенно широко — в лечебно-профилактических учреждениях, пищевой промышленности, фармацевтике и микроэлектронике. Такой подход ценят за высокую скорость обработки, универсальный механизм инактивации для всех микроорганизмов и экологичность метода; вместе с тем сохраняется ограничение по затенению сложных объектов.

Чем отличаются открытые и закрытые бактерицидные облучатели?

По принципу взаимодействия с окружающей средой облучатели делят на две группы. У открытых облучателей прямой бактерицидный поток от лампы (с отражателем или без него) свободно выходит в помещение, что даёт высокий коэффициент использования излучения для обеззараживания воздуха. Но из-за отсутствия экранирования такие облучатели эксплуатируют только при отсутствии людей либо с дополнительными защитными экранами. Закрытые облучатели, напротив, формируют поток внутри ограниченного объёма — корпуса, через который прокачивается воздух (или вода). Конструктивно исключается выход ультрафиолета наружу, поэтому закрытые установки допускают работу в присутствии людей.

Как реализуют УФ-обеззараживание воздуха в инженерных системах здания?

Закрытые блоки УФ-обеззараживания интегрируют непосредственно в воздуховоды приточно-вытяжной вентиляции, системы рециркуляции и кондиционирования. Альтернатива — автономные устройства закрытого типа (рециркуляторы) с установленным источником бактерицидного излучения: воздух забирается из помещения, проходит через камеру облучения и возвращается обратно. Открытые облучатели применяют как напольные или потолочные варианты для обработки объёма в отсутствие людей либо при организованной защите. Такой набор решений позволяет проектировать системы под конкретные режимы эксплуатации и требования к микробной обсеменённости.

Что такое барьерные УФ-системы и когда они уместны?

Отдельный класс — «щелевые» открытые облучатели, используемые в барьерных системах. Их задача — формировать зону ультрафиолетового облучения на пути перемещения воздуха между функциональными зонами. Конструктивно это арки с лампами по бокам и сверху; излучение направляется узким лучом с помощью экранов и отражателей. Важна высокая освещённость внутри барьера: требуется добиться значимого обеззараживания за короткое время, которое занимает проход человека и перенос воздуха. Такие системы позволяли заметно снижать концентрацию бактерий в воздухе и частоту респираторных заболеваний.

В чём специфика УФ-обеззараживания поверхностей и почему это критично?

Наличие микробов на поверхностях — это не только риск контактной передачи, но и источник вторичного аэрозольного загрязнения воздуха. Чем выше микробная обсеменённость предметов, тем больше вероятность попадания микроорганизмов в воздушную среду и их дальнейшего распространения. Поэтому задачи обеззараживания поверхностей рассматриваются как для повышения защищённости людей, так и для обеспечения технологического качества продукции в ряде отраслей. На практике применяются стационарные и передвижные открытые облучатели; при больших площадях и регламентированной длительности обработки используют установки повышенной единичной мощности, чтобы сократить общее время.

Какие дозы требуются для устойчивых форм на поверхностях и как выбирать режим?

Требуемые дозы зависят от вида микроорганизма и материала поверхности. Для инактивирования наиболее устойчивых паразитарных форм на поверхности чёрной резины сообщают дозу порядка 400–460 мДж/см². Этот ориентир показывает общий тренд: для обеззараживания поверхностей в реальных условиях часто требуются существенно более высокие дозы, чем для воздуха. Отсюда — конструктивные требования к системам: обеспечить достаточно высокие уровни интенсивности в рабочей зоне. Если технологически допустимо увеличить время обработки (например, при обеззараживании поверхности теплообменника кондиционера), интенсивность можно снижать, сохраняя целевую дозу за счёт экспозиции.

Как организуют контроль микробной обсеменённости поверхностей в медицине?

В лечебно-профилактических учреждениях предъявляются повышенные требования к чистоте поверхностей помещений и оборудования. Бактериологическое исследование включает выявление представителей семейства Enterobacteriaceae, а также *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*; отбор проб выполняют методом смывов с площади 100 см². В смывах не допускаются бактерии группы кишечной палочки и патогенные стафилококки. Для асептических помещений устанавливают эффективность обеззараживания 99 % для остальных микроорганизмов. Рекомендуют подбирать интенсивность на обрабатываемых поверхностях так, чтобы время облучения не превышало 15–20 минут. На практике применяют те же стационарные и передвижные открытые облучатели, что и для обеззараживания воздуха; в критических зонах после влажной уборки включают ультрафиолетовые облучатели на рассчитанную экспозицию.

Какие преимущества и ограничения у УФ-метода для поверхностей?

К преимуществам относят:

- быструю обработку (вплоть до секунд — в зависимости от мощности используемой установки и допустимой экспозиции);
- универсальный механизм инактивации для всех микроорганизмов и, как следствие, широкий спектр действия;
- экологичность и совместимость с химическими методами обеззараживания.

Ограничение принципиальное — эффект затенения. Сложные конфигурации предметов, перекрытия и углубления требуют либо изменения схемы облучения, либо увеличения времени/мощности, либо дополнительного перемещения источника относительно поверхности. Общая тенденция развития оборудования — рост единичной мощности

облучателей, позволяющий сокращать длительность дезинфекции больших площадей.

Как совмещать обработку воздуха и поверхностей в одной системе?

Открытые облучатели обеспечивают эффективное обеззараживание воздуха в объёме помещения, но их эксплуатация привязана к отсутствию людей либо к специальным экранам. Закрытые устройства (в составе вентиляции или в виде автономных рециркуляторов) работают непрерывно в присутствии людей и поддерживают фоновое снижение микробной нагрузки в воздухе. Для поверхностей в медицинских помещениях действуют отдельные регламенты: после санитарной уборки включают облучатели на расчётное время, а для производственных поверхностей пищевой промышленности применяют те же типы облучателей, что и в ЛПУ, с учётом требований конкретного технологического процесса. Такое распределение ролей позволяет стабильно держать микробный фон в воздухе и «снимать» бионагрузку с критичных поверхностей в заданные технологические окна.

Когда уместны специальные решения, такие как барьеры или локальные зоны высокой интенсивности?

Если необходимо предотвратить перенос воздушной микрофлоры между зонами различного назначения, используют барьерные открытые системы с узкими лучами, экранами и отражателями. Они формируют «световой шлюз», через который проходит человек и воздушный поток; повышенные уровни облучённости в создаваемом коридоре обеспечивают выраженное снижение концентрации бактерий при минимальном времени контакта. Для инактивирования устойчивых объектов на поверхностях (включая паразитарные формы) обосновано создание локальных зон с повышенной интенсивностью, чтобы обеспечить целевую дозу за технологически приемлемую экспозицию.

Какие практические шаги важны при выборе и настройке УФ-оборудования?

Во-первых, определить режим эксплуатации: присутствуют ли люди, требуется ли непрерывная обработка воздуха или периодическая — поверхностей. Во-вторых, выбрать тип облучателя: закрытый (рециркулятор/канальный модуль) для постоянного фонового снижения микробной нагрузки либо открытый — для интенсивной обработки



Производство
УФ ламп
УФ оборудования

объёма и поверхностей в регламентные окна. В-третьих, рассчитать дозу на поверхностях с учётом вида микроорганизма и материала: при высокоустойчивых формах формировать соответствующую интенсивность и экспозицию. И, наконец, обеспечить контроль результата согласно требованиям к объекту (например, метод смывов с 100 см² с оценкой целевых индикаторов и достижение 99 % эффективности в асептических зонах). Такой алгоритм вытекает из функционального деления оборудования и регламентов применения.