

УФ-обеззараживание сточных вод: доза, качество, компоновка и контроль

Почему сточные воды обязательно обеззараживать и какое место в цепочке занимает УФ-стадия?

В инженерной практике обеззараживание — это завершающее звено классической схемы очистки сточных вод. Именно на этом этапе снимают эпидемиологические риски перед сбросом или повторным использованием очищенной воды. Прямо подчёркнуто, что обеззараживание сточных вод следует рассматривать как обязательное мероприятие: «необходимость обеззараживания не только питьевой воды, но и всех видов сточных вод, поступающих в водоёмы». При этом место УФ-стадии в технологии — конец цепочки после механической и биологической очистки, где уже стабилизирован состав и снижены взвешенные вещества.

Какая УФ-доза требуется для коммунальных сточных вод?

Требования к дозе различаются по регионам, но для коммунальных сточных вод в РФ приведён чёткий ориентир: не менее 30 мДж/см². Отмечено, что такая доза практически достаточна в большинстве случаев, если содержание взвешенных веществ до 20 мг/л на классических сооружениях. Более того, встречается успешное применение метода и при 35–40 мг/л взвешенных веществ, но это уже зона повышенного внимания к гидравлике и оптике потока. Также указывается, что БПК₅ мало влияет на эффективность обеззараживания, а ХПК существенно влияет на коэффициент пропускания, при этом экономическая целесообразность сохраняется при ХПК до 150 мг/л и БПК₅ до 40 мг/л.

Как КП254/UVT и состав сточной воды влияют на фактическую УФ-дозу?

Коэффициент пропускания на длине волны 254 нм (КП254/UVT) — главный оптический параметр для расчёта и подбора УФ-оборудования. Он определяется суммарным вкладом растворённых органических и

неорганических веществ, а также взвесей, которые экранируют микроорганизмы и поглощают излучение. Чем ниже КП254, тем меньше излучения достигает микробных клеток при прочих равных — и тем более мощную систему придётся закладывать, чтобы обеспечить ту же эффективную дозу. Для полихроматических источников (например, ламп среднего давления) важен весь спектр пропускания, поскольку бактерицидный эффект складывается по нескольким длинам волн.

Насколько чувствителен расчёт к изменению КП254?

Зависимость между эффективной дозой и КП254 носит степенной характер: снижение КП254 всего на 10 % (например, 70 % → 60 %) способно изменить необходимое количество ламп и энергозатраты в 1,5–2 раза при сохранении целевой дозы. Поэтому проектирование всегда ведут на минимально ожидаемый коэффициент пропускания для данного объекта, чтобы обеззараживание гарантировалось во всех случаях, включая периоды ухудшения качества воды.

Какие типы УФ-установок применяют на очистных сооружениях?

В практике коммунальных очистных сооружений используются два базовых конструктивных подхода: корпусные и лотковые (канальные) УФ-установки. Выбор зависит от схемы гидравлики, требуемого расхода, габаритов сооружения и допустимых потерь напора. Лотковые системы органично встраиваются в существующие каналы после биореакторов и вторичных отстойников; корпусные решения чаще применяются на напорных участках и в стеснённых условиях, где удобнее модульная компоновка.

Какие показатели качества потока критичны перед обеззараживанием?

Для взвешенных веществ ориентиром служит прежде всего гидравлика и равномерность облучения. Указывается, что при до 20 мг/л обеспечивается надёжный режим при дозе 30 мДж/см², а при 35–40 мг/л встречаются работоспособные решения при корректной компоновке. БПК₅ в целом «мало влияет» на эффект инактивации, тогда как ХПК — индикатор органики, которая активно поглощает УФ и тем самым снижает КП254. Тем не менее, до 150 мг/л по ХПК метод остаётся экономически оправданным, что важно для типичных городских стоков после биологической очистки.

как подтверждать работоспособность выбранной дозы на конкретном объекте?

Базовый подход — учёт всего диапазона КП254, характерного для объекта, и выбор дозы, достаточной для достижения нормативных микробиологических показателей во всех сценариях. Игнорирование эксплуатационной специфики сооружения или неполные данные по факторам, влияющим на эффективность УФ-обеззараживания, приводят либо к недодаче по микробиологии, либо к неоправданному завышению мощности. Поэтому перед внедрением проводят технологическое обследование и при необходимости опытно-промышленные исследования, после чего фиксируют расчётный минимальный КП254 и рабочую дозу для проекта.

Что требуют методические документы к оборудованию и контролю процесса?

Приведён перечень ключевых требований: наличие УФ-датчиков для контроля дозы, счётчик наработки ламп, сигнализация неисправностей и снижения дозы, системы очистки кварцевых чехлов (химические или механические) с возможностью очистки без разборки оборудования, пробоотборники до и после обеззараживания, а также указание в паспорте минимальной дозы и условий её обеспечения в зависимости от пропускания и расхода. Для санитарного сопровождения используются методические материалы, включая санитарно-вирусологический контроль эффективности УФ-обработки сточных вод.

Где и как применять УФ при повторном использовании и сбросе?

Отмечено, что качество воды нормируется не только в самой технологической линии, но и в контролльном створе водоёма-приёмника; нормы варьируют по категориям водного объекта и по целям повторного использования. Это подчёркивает, что УФ-обеззараживание должно проектироваться под конкретный сценарий: либо сброс в поверхностные воды, либо обратное или хозяйствственно-бытовое применение очищенной воды. Соответственно меняются целевые показатели по индикаторным микроорганизмам и подтверждающие испытания.

Почему УФ-обеззараживание стало ведущей технологией для сточных вод?

В представленных данных подчёркнут «устойчивый рост объёмов использования» и лидирующие позиции метода на крупных станциях аэрации в индустриально развитых странах. Отмечается интенсивный отказ от хлорирования и переход на УФ-технологию на действующих сооружениях. Смысл этой тенденции практико-ориентирован: УФ-метод сочетает эффективность инактивации (включая проблемные группы микроорганизмов) и безреагентный характер, что снимает вопросы обращения с реагентами и побочными продуктами хлорирования.

Как учитывать спектральные особенности воды и источников излучения?

Для сточных вод особенно важно, что вода в целом резко увеличивает поглощение при длинах волн менее ~230 нм; следовательно, бактерицидный вклад на инженерных расстояниях дают в основном длины волн около 254 нм и соседний диапазон. Поэтому при расчёте полихроматических источников учитывают спектр пропускания объекта и вклад каждой линии в эффективную дозу. Для монохроматических решений на 254 нм первичным остаётся контроль КП254 и гидравлики в зоне облучения.

Какие эксплуатационные нюансы помогают удерживать стабильную дозу?

С течением времени кварцевые чехлы покрываются налётами, а качество воды по оптическим показателям способно меняться. Поэтому критично:

- поддерживать чистоту чехлов с помощью встроенных систем очистки;
- регулярно контролировать сигналы УФ-датчиков и наработку ламп;
- вести протоколы по регламентам, в том числе по промывкам и сервису;
- сверять фактическую дозу УФ с расчётной, особенно при сезонных колебаниях качества воды.

Эти требования закреплены в методических документах и паспортной части оборудования.

Как использовать экономические ориентиры при предварительной оценке проекта?

Даже без детальной оптики уже на первом шаге можно понять, насколько «тяжёлым» будет проект: если на объекте ХПК до ~150 мг/л и БПК₅ до ~40 мг/л, а взвешенные вещества до ~20 мг/л (эпизодически до 35–40 мг/л), то при дозе 30 мДж/см² УФ-обеззараживание коммунальных стоков рассматривается как технически и экономически целесообразное. Эти ориентиры упрощают предварительный выбор типа установки (лотковая или корпусная), числа ламп и ожидаемого энергопотребления, которое затем уточняется расчётом по минимальному КП254 и по гидравлике канала/корпуса.

Что важно помнить при масштабировании: от локальных линий до мегаполиса?

УФ-технология одинаково описывается как для сравнительно небольших производительностей, так и для очень крупных очищающих комплексов. Отражены проекты с крупнейшими суточными производительностями, где УФ-обеззараживание стало завершающей стадией при многопоточной структуре сооружений. Это не меняет принципов: расчёт по минимальному КП254, подтверждение фактической дозы и соблюдение эксплуатационных регламентов