

Что входит в класс «УФ-источники на основе разряда в парах ртути»?

В эту группу входят два базовых семейства: ртутные лампы **низкого давления** (сюда же относятся **амальгамные лампы**) и ртутные лампы **высокого давления** по российской классификации, которые за рубежом обычно называют лампами **с разрядом среднего давления**. Такое деление важно не формально — от него зависят спектр, удельная мощность, КПД в бактерицидной области и пригодность к тем или иным технологическим режимам.

Почему лампы низкого давления и амальгамные — «рабочие лошади» обеззараживания?

В лампах низкого давления источником УФ-излучения служит **дуговой разряд** в парах ртути и инертного газа. Различие между классическими и амальгамными лампами — **в источнике паров ртути**: в первых используют каплю металлической ртути, во вторых — амальгаму, то есть **твёрдый сплав ртути** с металлами. Оптимальное давление паров ртути составляет **0,7–1,5 Па**, давление буферных газов (неон, аргон или их смесь) — **10–500 Па**. В этих условиях **30–50 %** электрической мощности разряда преобразуется в излучение **на линии 253,7 нм**, расположенной вблизи максимума бактерицидной эффективности. Спектр линейчатый; доля УФ-излучения приходится прежде всего на **185 и 254 нм** и может достигать **90–98 %** от всего излучения разряда.

Какие плазменные и электрические особенности задают режим дуги низкого давления?

В широко применяемых источниках низкого давления реализуется **дуговой разряд с оксидными электродами**. Для такого разряда характерны **малое катодное падение** порядка **5–15 В** при **высоких плотностях тока (10^2 – 10^4 А/см²)**; электронная эмиссия — **термоэлектронная**. Плазма **неизотермическая**: температура электронов порядка **1–2 эВ**, а газ нагрет до **≈320–500 К**. Вольт-амперная характеристика разряда **падающая**, что задаёт специфические требования к питанию и стабилизации режима. В излучении основную роль играют **резонансные переходы атома ртути**, формирующие выход на целевых линиях.

Чем амальгамные лампы принципиально отличаются и как поддерживают «правильное» давление ртути?

Амальгама — это раствор ртути в одном или нескольких металлах. У такой системы **давление насыщенных паров ртути** при комнатной температуре **меньше**, чем у чистой ртути. При зажигании лампы стенки колбы прогреваются до **80–130 °C**, и именно в этом диапазоне **давление паров ртути** над амальгамой выходит на **оптимальные 0,7–1,5 Па** — там, где достигается наилучшая эффективность генерации УФ-излучения дугой низкого давления. Компоненты амальгамы подбирают так, чтобы **не влиять** на разряд и **не взаимодействовать** с конструктивными элементами и кварцем, а их парциальные давления оставались существенно ниже давления ртути.

Почему амальгамные лампы часто оказываются безальтернативными для воды и воздуха?

По совокупности ключевых показателей — **бактерицидная эффективность, энергетический КПД, экологичность** (содержание ртути и других вредных веществ), **срок службы лампы и ЭПРА, спад УФ-потока, стоимость и единичная мощность** — амальгамные лампы часто оказываются **единственно возможным** вариантом. При этом, несмотря на внешнюю простоту, это **сложные электровакуумные устройства**: от них требуется **высокий ресурс** и стабильная работа **1–2 года** без заметного падения УФ-мощности при **температурах окружающей среды 0–70 °C**. Для предотвращения образования озона в воздухе применяют **безозоновые** колбы из кварца, **легированного оксидом титана** (порядка **200 ppm**), который **поглощает 185 нм**; спектр таких ламп состоит фактически **из одной линии 254 нм**. Одна из целей производителей — повышение единичной мощности при сохранении КПД генерации **254 нм** на уровне **≈35–40 %** и **срока службы не менее 12 000–16 000 ч**.

Как меняется эффективность при росте удельной мощности и каков «потолок» теории?

При оптимальных параметрах разряда теоретический КПД преобразования электрической энергии **в резонансное УФ-излучение** может достигать **≈70 % и выше**. Реальный же **бактерицидный КПД** в

мощных источниках низкого давления составляет **≈30–50 %**, причём **чем выше удельная мощность, тем ниже КПД**. Это следствие распределения энергии между возбуждением ртути, нагревом газа, ионизацией и возбуждением «нецелевых» линий. Практический вывод прозрачен: увеличение мощности не всегда линейно добавляет «полезный» бактерицидный поток.

Что показывает поведение амальгамной лампы при изменении мощности и тока?

Для амальгамных источников низкого давления наблюдается типичная картина: при росте **мощности разряда** интенсивность УФ-излучения сначала **возрастает**, затем после достижения **оптимума** начинает **снижаться**, а **КПД падает приблизительно линейно**. Параллельно **ток разряда растёт**, а **напряжение на лампе уменьшается**. Характер зависимостей заметно чувствителен к **давлению** и **составу инертного газа** (например, смеси **Ne/Ar**), что учитывается при настройке режима.

Почему у ламп среднего (высокого) давления бактерицидная эффективность ниже?

Лампы среднего давления отличаются **большой единичной мощностью** при компактных габаритах: диапазон электрических мощностей **≈100–40 000 Вт**. Для выхода на режим требуется **5–10 мин**, а стенки колбы прогреваются до **≈600–900 °С**. Их излучение приходится в основном на **УФ-А и УФ-В**, причём выражен **максимум в области 365 нм**; присутствуют и основные линии, и слабый **сплошной фон** (порядка **≈10 %** общего излучения). На практике это означает, что «полезная» часть спектра (200–300 нм) относительно невелика, что и делает их **в 3–4 раза менее эффективными** по бактерицидному действию, чем лампы низкого давления. Для стандартных ртутных ламп доля излучения в **200–300 нм** от подведённой электрической энергии составляет **≈9–15 %**, а с учётом **кривой бактерицидной эффективности** — **не более 10–11 %**.

Что такое «ультрафиолетовая нормаль» и где она нужна?

Среди ртутных ламп высокого давления выделяют **ультрафиолетовую нормаль** — образцовый излучатель для **измерений силы света** или **потока** ртутных ламп. Она известна **стабильностью излучения** в широком спектральном диапазоне: от **≈230 до 1719 нм** для линий и **≈215–6000 нм** для сплошного спектра. Работает при **постоянном напряжении**; при **токе 2 А** её мощность **≈250 Вт**. Это эталонный

инструмент метрологии, а не «производственный бактерицидный» источник.

Когда и зачем выбирают ртутные источники на 185 нм?

Помимо 253,65 нм спектр ртути содержит **интенсивную линию 184,95 нм** (область **вакуумного УФ**). В воздухе она **поглощается кислородом с образованием озона**, поэтому такие источники используют **для очистки газов, в медицине, фармакологии** и для ряда фотохимических задач — часто **в сочетании 185 нм и 254 нм**. Создание высокоэффективного источника на **185 нм** — нетривиальная задача: требуется оптимизировать **состав и давление буферных газов, давление паров ртути, ток лампы и частоту**, а также применять **особо чистый кварц**, поскольку **поглощение на 185 нм** крайне чувствительно к **микропримесям** (до долей ppm).

Как коротко сопоставить низкое, среднее и высокое давление по ключевым признакам?

Лампы **низкого давления** (включая **амальгамные**) концентрируют мощность на бактерицидной линии **254 нм**, обеспечивают **высокий КПД** и стабильность, что делает их предпочтительными для **воды и воздуха**. Лампы **среднего/высокого давления** дают **большую удельную мощность**, но их **спектр смещён в УФ-А/УФ-В**, из-за чего бактерицидная эффективность **ниже**, а **тепловые и эксплуатационные нагрузки** — **выше**. Вследствие этого выбор диктуется сочетанием **спектра, требуемой дозы, времени обработки и ограничений по безопасности и ресурсу**.