

# К вопросу об эффективности современных амальгамных ламп низкого давления

М. ВАН ДЕР МЕЕР<sup>1</sup>, Ф. ВАН ЛИРОП<sup>2</sup>, Д.В. СОКОЛОВ<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Компания *Philips Lighting*, Бельгия

<sup>2</sup> Компания *UV Lamp Consulting*, США

<sup>3</sup> НПО «ЛИТ», Москва, Россия

<sup>4</sup> E-mail: sokoloff@npo.lit.ru

## Аннотация

Большое внимание вопросам эффективности современных амальгамных ламп низкого давления уделяется в связи со всё возрастающей актуальностью повышения энергоэффективности установок для обеззараживания воды, воздуха или поверхности. Реальный КПД источника излучения, как и всей системы УФ-обеззараживания, является важным для заказчика эксплуатационным параметром. В работе подробно рассмотрены факторы, влияющие на КПД ламп низкого давления. Показано, что на начало срока службы КПД современных амальгамных ламп лежит в пределах 30–40 %.

**Ключевые слова:** КПД, эффективность, амальгамная лампа низкого давления, УФ-обеззараживание.

Ультрафиолетовое излучение имеет широкое применение в различных областях человеческой деятельности и активно используется как метод бактерицидной обработки воды, воздуха и поверхностей [1]. За последние 15–20 лет метод УФ-обеззараживания пережил бурный рост. Эта технология позволила кардинально поменять подходы к обеззараживанию сред, и при этом наиболее значительно метод УФ-обеззараживания развивался как метод обеззараживания воды [2]. Помимо водоснабжения и канализации, УФ-обеззараживание также широко используется в различных отраслях промышленности: пищевой, фармакологической и электронной промышленности, медицине, оборотном водоснабжении, рыбоводстве и т.д. [1]

Можно уверенно сказать, что сформировался определённый рынок оборудования, крупнейшими производителями которого стали такие компании как *Trojan* (Канада), *Wedeco Xylem* (США-Германия),

*LIT Technology* (Россия-Германия), *HALMA Fluid Technology Group* (Великобритания) и многие другие.

Успех УФ-технологии был бы невозможен без значительного прогресса источников бактерицидного УФ-излучения. На протяжении последних 15–20 лет газоразрядные источники УФ-излучения, и особенно, амальгамные лампы низкого давления, совершили огромный научный и технологический скачок в своём развитии. Можно вспомнить, как ещё 10–15 лет назад базовыми источниками для УФ-установок были лампы мощностью до 100 Вт, в основном, лампы из так называемого увиолевого стекла (*soft glass*) или такие же ртутные лампы, но изготовленные из кварцевого стекла, которые получили название *standard low pressure mercury lamp* (стандартные ртутные лампы низкого давления). Затем появились кварцевые ртутные лампы повышенной мощности (*high output*) и наконец, амальгамные лампы. С прогрессом технологии стали появляться амальгамные источники мощностью 200, 300, 700 и даже 1000 Вт. Это позволило существенным образом снизить издержки на капиталовложения за счёт удешевления машин при снижении числа лампоузлов при той же степени обеззараживания и том же расходе воды, проходящей через установку обеззараживания. Крупнейшими производителями современных амальгамных ламп низкого давления являются: *Heraeus Noblelight* (Германия), *LSI/Lighttech* (США-Венгрия), *Philips Lighting* (Бельгия-Китай), *ЛИТ* (Россия), *Wedeco Xylem* (Германия), *UV-Technik/Hoenle group* (Германия), *First Light* (США), а также многочисленные азиатские производители [2].

«Сердцем» любой УФ-машины является источник УФ-излучения, и эта работа посвящена УФ амальгамной лампе низкого давления. Что такое

амальгамная лампа? В ртутных лампах низкого давления и амальгамных лампах, которые широко используются для обеззараживания, источником УФ-излучения является дуговой разряд низкого давления в парах ртути и инертных газов. Различие между ними заключается в источнике паров ртути: в колбы ртутных ламп помещают небольшое количество жидкой металлической ртути, а в амальгамных лампах используют амальгаму – твёрдый сплав ртути с металлами. Оптимальное давление паров ртути составляет 0,7–1,5 Па, а давление инертных газов (чаще всего неона или аргона, или их смеси) – 100–300 Па. При таких условиях 30–40 % от электрической мощности разряда переходит в излучение резонансной линии ртути с длиной волны 254 нм, которая лежит вблизи максимума кривой бактерицидной эффективности. Спектр излучения – линейный (рис. 1), а доля УФ-излучения на линиях 185 и 254 нм составляет 90–98 % от всего излучения разряда.

Можно отметить, что характеристики ламп многих производителей зачастую являются весьма близкими. Например, если сравнивать стандартные и хорошо известные лампы мощностью около 300 Вт, такие как *UV3000+*, *XPT240*, *DB300*, *UVI260*, *GPHVA1554T6L*, то окажется, что у них ток лампы, электрическая мощность, КПД, выход УФ-излучения являются весьма близкими. Действительно, ток лампы колеблется от 1,8 до 2,0 А, мощность УФ-излучения – от 87 до 95 Вт, а электрическая мощность лежит в интервале 230–260 Вт. Таким образом, можно говорить о том, что для данных источников КПД примерно одинаков и лежит в интервале 35–38 %.

С увеличением мощности и рабочего тока, характеристики ламп будут меняться. На сегодняшний день достигнуты следующие эксплуатационные характеристики ламп: электрическая мощность до 1 кВт, ресурс 12000–16000 ч., спад УФ-излучения на конец срока службы 5–10 %.

Многие светотехнические компании активно сотрудничают и обмениваются технической информацией о параметрах ламп, так как такие важные параметры, как мощность УФ-излучения, КПД источника, ресурс лампы, спад излучения в про-

Рис. 1. Спектр излучения ртутного разряда низкого давления. За 100 % принята линия 254 нм

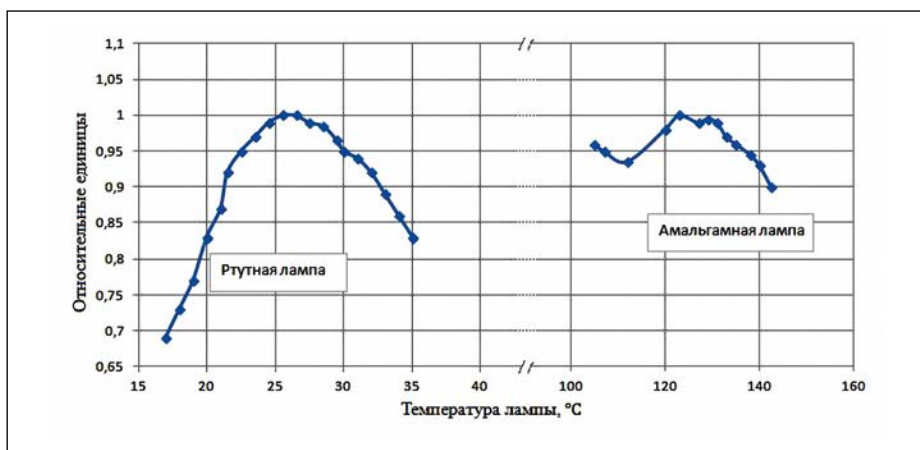
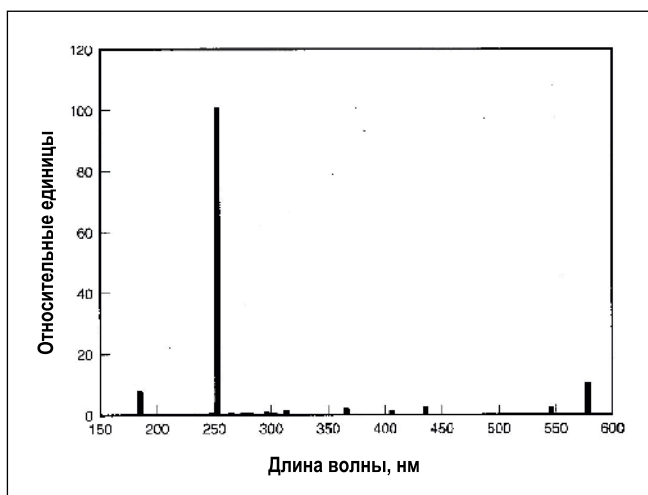


Рис. 2. Давление паров ртути в зависимости от температуры в ртутных и амальгамных лампах

цессе работы являются очень важной информацией для заказчика. Практически все вышеуказанные компании являются членами *IUVA (International Ultraviolet Association)* и принимали участие в разработке стандартизованного протокола для измерения амальгамных ламп низкого давления [4], основанного на так называемом *Robin Round* тесте. Это позволило теснее сотрудничать в плане обмена информацией о характеристиках ламп.

Важно отметить, что в последние годы всё большее внимание обращается на эффективность УФ источников, которая с учётом роста тарифов на электроэнергию и экономики обработки среды (например, воды) приобретает большое значение. И если задачи по уменьшению/сохранению срока службы лампы являются решаемыми инженерными задачами, то вопрос КПД ламп лежит в области физики газового разряда.

Что такое КПД УФ-лампы? Традиционно под этим понимаются отношение полного потока УФ излучения к электрической мощности:

$$\eta = \frac{\Phi_{254}}{\Phi_{el}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Велика или мала величина 35–38 %, как например, в случае стандартной лампы типа ДБ300? На основе сравнения с другими источниками света, можно с уверенностью сказать, что это очень высокий КПД, и это тот редкий случай, когда природа помогла человеку, особенно с учётом того, что сама линия 254 нм лежит близко к максимуму эффективности инактивации микроорганизмов на бактерицидной кривой. Альтернативой в этой области УФ могут служить разве что ксеноновые эксимерные источники с соответствующим люминофором или иные источники на эксиплексных молекулах, КПД кото-

рых может при определённых условиях достигать высоких значений 10–20 % [4, 5], а также УФ-светодиоды с длинами волн 260–275 нм, КПД которых в настоящее время не превышает нескольких процентов, а коммерчески доступные кристаллы имеют эффективность ниже чем 1 % [6,7].

Рассмотрим факторы, влияющие на эффективность амальгамных ламп низкого давления. С точки зрения физических процессов, происходящих в лампе, на выход излучения влияют следующие факторы: ток лампы (и частота), диаметр колбы, толщина стенки колбы, покрытие колбы лампы, состав и давление балластного газа, изотопный состав ртути.

На наш взгляд, подробное и глубокое с точки зрения физики газового разряда рассмотрение влияния тех или иных факторов на выход (полный поток) излучения с длиной волны 254 нм является достаточно утомительным, поэтому мы рассмотрим эти процессы только качественно.

**Давление паров ртути.** Влияет ли давление паров ртути на выход УФ излучения амальгамных ламп? Конечно, при увеличении давления паров ртути при неизменных других параметрах разряда, выход УФ излучения увеличивается, так как растёт число возбуждаемых и излучающих атомов. Однако при превышении некоторого оптимального уровня, эффективность вновь уменьшается (рис. 2). Это обусловлено влиянием перепоглощения резонансного излучения и увеличением эффективного времени жизни возбуждённого уровня, а также падением электронной температуры. Отметим также, что часть энергии теряется при столкновениях возбуждённых атомов друг с другом и с электронами.

Способ достижения оптимального давления паров ртути, как, например, поддержание определённого температурного режима амальгамы, является только инженерной задачей и реализуется в каждом конкретном случае по-разному (мультикомпонентные амальгамы, пеллет-технология, «холодная точка») производителем того или иного типа лампы. Получение выхода УФ излучения выше некоего максимального при оптимуме давления паров ртути в лампе не представляется возможным.

**Наполнение лампы. Состав газа и давление.** Можно показать, что определяющим фактором для накачки нужного нам уровня  $6^3P_1$  является электронная температура плазмы. Задача состоит в том, чтобы достичь её оптимального значения. Может ли разряд в парах ртути работать без балластного газа вообще? Конечно, и более того, первые ртутные лампы были устроены именно так. При отсутствии балластного газа электроны, а затем и ионы, под действием амбиполярной диффузии слишком быстро уходят на стенку, и для поддержания баланса частиц плазма обеспечивает высокую скорость образования ион-электронных пар, что приводит к увеличению электронной температуры. Высокая электронная температура позволяет закачивать энергию не только в нужную нам линию 254 нм, но и в другие ненужные нам линии, что ведёт к потерям.

Важнейшей функцией инертного газа является снижение скорости диффузии электронов к стенке. Изменением давления инертного газа можно регулировать температуру электронов до оптимального уровня, при котором доля энергии на возбуждение и излучение атомов ртути значительно превосходит долю потерь энергии на упругие соударения. Отметим, что потери на возбуждение и излучение зависят от температуры электронов экспоненциально, а потери на упругие соударения – линейно. Температура электронов не должна быть слишком велика, т.к. необходимо, чтобы возбуждались, в основном, состояния  $6^3P$  и не происходило заметного возбуждения более высоко лежащих уровней. До некоторого предела уменьшение давления инертного газа приводит к увеличению КПД генерации УФ излучения разрядом, а распределение энергии по спектру излучения при этом может меняться. Однако эта зависимость носит немонотонный характер, в том числе из-за указанного ранее влияния инертного газа на процессы поглощения резонансного излучения. При слишком низких давлениях резко возрастает поток ионов и электронов на стенки и растёт доля потерь энергии на ионизацию.

Следует отметить, что при давлениях ниже 1 мм. рт. ст. сдерживающим фактором является ресурс оксидного катода, когда частички ок-

сида бария за счёт высоких значений коэффициента диффузии «уходят» в плазму, тем самым уменьшая ресурс электродов до неприемлемых значений. (Подробно механизмы расхода эмиссионного вещества оксидных катодов ламп низкого давления описаны в [8]). Таким образом, можно сказать, что типичная область давлений буферного газа достаточно узкая и находится в пределах 0,8–2 мм. рт. ст.

Требуемая для оптимального выхода УФ излучения высокая температура электронов может быть достигнута заменой одного буферного газа на другой, в котором скорость диффузии электронов и ионов ртути больше, и использованием более низких давлений при сохранении одного и того же диаметра трубки. Действительно, скорость исчезновения электронов и ионов изменяется в соответствии с изменением коэффициента амбиполярной диффузии ионов в инертном газе, который в этом случае будет определяться подвижностью ионов. Приблизительные значения подвижности ионов ртути в трёх наиболее лёгких газах при 0 °С и давлении 100 кПа (760 мм рт. ст.) равны: для гелия – 19,6 см<sup>2</sup>/(В·с), для неона – 5,9 см<sup>2</sup>/(В·с), для аргона – 1,85 см<sup>2</sup>/(В·с). Соответственно, подвижность ионов ртути в криптоне и ксеноне ещё меньше. Чем газ легче, тем больше подвижность ионов ртути в нём. Таким образом, температура электронов, а следовательно, и уровень насыщения выхода УФ излучения, будут наибольшими в гелии и наименьшими в ксеноне. С практической точки зрения, ксенон и криптон мало пригодны из-за низкого выхода излучения, а гелий чрезвычайно текуч и может рассматриваться здесь только теоретически, так что на практике используют аргон, неон и их

смеси. (Безусловно, немаловажным фактором является чистота газов.)

**Покрытие колбы лампы.** Одной из самых важных характеристик лампы является спад УФ-излучения на конец службы лампы. Чтобы гарантировать уверенное обеззараживание даже после 12000–16000 часов работы, машины конструируются таким способом, чтобы учитывать возможное ослабление полного бактерицидного потока ламп. Разумеется, чем спад излучения меньше, тем источник выгоднее с практической точки зрения и тем выше его КПД к концу срока службы. Отметим, что для заказчика неважно, какой КПД имел источник в начале эксплуатации, а важно, какова будет эффективность лампы в его конце, так что все УФ-установки рассчитываются на конец срока службы.

Механизм потемнения внутренней поверхности кварцевой трубки лампы (рис. 3) изучался и обсуждался в [9, 10]. Он связан с образованием оксида ртути на внутренней поверхности кварцевой трубки. Этот процесс обусловлен с амбиполярной диффузией, которая вызвана образованием электрического поля между плазменным столбом и стенкой трубки. Ионы ртути ускоряются в этом электрическом поле, приобретают кинетическую энергию и воздействуют на кварцевую стенку. Это приводит к образованию  $Hg-O$  связей. Оксид ртути ( $HgO$ ) сильно поглощает УФ-излучение. Таким образом, слой оксида ртути толщиной всего 10 нм поглощает примерно 50 % УФ-С излучения, генерируемого разрядом.

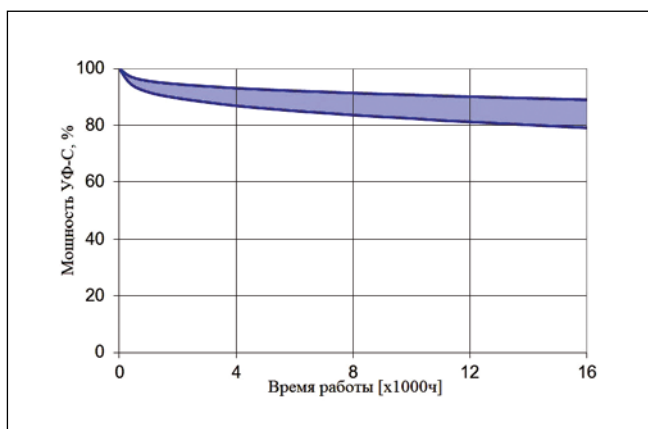
Для чего покрывают внутреннюю поверхность колбы? Покрытие и призвано решать задачу эффективной защиты поверхности кварцевого стекла от взаимодействия с плазмой разряда. Существует много методов



Рис. 3. Кварцевые стенки колбы новой лампы (вверху) и лампы, отработавшей свой срок службы



Рис. 4. Типичные кривые спада УФ-излучения для амальгамных ламп высокой мощности с мезопористым покрытием (вверху) и с покрытием из нанопорошка (внизу)



и подходов для создания защитного покрытия. Основным подходом является защита с помощью прозрачного для УФ-С излучения слоя, более устойчивого к химическому воздействию ионов ртути. Как правило, используются оксиды различных металлов. В целом, структура слоёв, получаемых при разных методах покрытия, может быть разделена на две группы: слои наночастиц и мезопористые слои в виде оксидных плёнок.

У каждого метода есть свои преимущества: использование нанопорошков — простой, технологичный и недорогой способ, тогда как получение тонких и прочных мезопористых покрытий — намного более сложная технология, которая подразумевает использование реакций разложения при высоких температурах или так называемую «золь-гель» технологию. Разнятся и результаты применения таких технологий. Спад УФ-С потока лампы за время срока службы связан с типом защитного покрытия, наполнением лампы, токовой нагрузкой лампы, и т.д. и после 12000–16000 ч работы лежит в диапазоне от 5 до 10 % для мезопористых покрытий и от 15 до 20 % для нанопорошков (рис. 4).

**Ток лампы.** При любом наполнении лампы при увеличении тока мощность УФ излучения сначала растёт, а затем выходит на насыщение, или скорость этого роста существенно уменьшается. При этом КПД генерации УФ излучения разрядом падает. Это обусловлено увеличением концентрации электронов и увеличением вклада упругих столкновений электронов с атомами инертного газа и ртути в нагрев газа, а также увеличением тушения возбуждённых состояний атома ртути электронами при неупругих соударениях второго

рода. Ещё одна причина, наиболее важная, — это снижение напряжённости электрического поля и энергии электронов вследствие повышения концентрации метастабильных атомов ртути и усиления роли ступенчатых процессов.

**Частота тока лампы.** Влияние частоты тока лампы многократно исследовалось [11, 12]. Известно, что в разряде низкого давления основные потери заряженных частиц происходят за счёт амбиполярной диффузии на стенки колбы. Время амбиполярной диффузии составляет миллисекунды, и оно меньше, чем период сетевого напряжения в случае использования промышленной частоты 50–60 Гц, поэтому разряд гаснет в конце каждого полупериода и зажигается в начале каждого следующего полупериода. При таком режиме формы разрядного тока и напряжения на лампе не совпадают. Использование в качестве стабилизатора тока электромагнитного дросселя является традиционным, но устаревшим решением из-за малого числа включений, относительно низкого ресурса ламп, меньшего энерговыклада в плазму и низкого коэффициента мощности. На практике для мощных амальгамных ламп применяют электронные пускорегулирующие аппараты, работающие с квази-синусоидальным током частотой 20–70 кГц. Это позволяет устранить вышеназванные недостатки электромагнитных пускорегулирующих аппаратов. Однако дальнейшее повышение частоты не является перспективным. Во-первых, это не приводит к существенному росту выхода линии 254 нм, так как резерв по уменьшению приэлектродных потерь не является бесконечно большим, во-вторых, приводит к заметным ёмкостным потерям

в проводах. Практический предел находится в районе 60–70 кГц, и наиболее часто используют 30–40 кГц ввиду незначительной разницы в КПД разряда у этих диапазонов частот, а также исходя из необходимого запаса для систем регулировки мощности, при которой частота тока лампы существенно возрастает.

**Форма тока** также влияет на характеристики разряда. Например, вместо синусоиды можно применять прямоугольные импульсы типа меандр, которые теоретически могут приводить к увеличению эффективности подвода в плазму разряда. Однако можно показать, что для линии 254 нм это добавка в КПД является малой (1–3 %), а вот потери от использования такой формы тока в проводах из-за высших гармоник могут быть весьма существенными, так что это может приводить не к повышению общего КПД системы, а к его снижению.

**Изменение диаметра разряда.** Изменение диаметра оказывает двойное влияние на разряд. С одной стороны, уменьшение диаметра приводит к увеличению потерь заряженных частиц, а с другой, оно приводит к увеличению плотности тока. Поэтому при увеличении диаметра разрядной трубки КПД сначала повышается, поскольку уменьшаются потери заряженных частиц, а затем падает, поскольку падает электронная температура.

**Толщина стенки колбы лампы** определяется двумя основными факторами: механической прочностью и коэффициентом пропускания кварцевого стекла. С точки зрения выхода УФ излучения, наиболее выгодны минимальные толщины, так как в зависимости от коэффициента поглощения (качества кварцевого стекла) выход УФ излучения подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера. Однако традиционно из соображений механической прочности толщины стенок выбирают хоть и минимальными, но достаточными. На практике это от 1 до 2 мм. Пропускание хорошего кварцевого стекла составляет 87–89 % на 1 мм толщины. Чистое кварцевое стекло позволяет получить величины и выше 90%, однако в кварц специально вводят легирующие добавки (100–200 ppm  $TiO_2$ ) для блокирования линии 185 нм, а при этом происходит

незначительное снижение и выхода линии 254 нм.

**Изотопный состав.** Благодаря наличию в природной ртути семи изотопов ( $^{196}\text{Hg}$  (0,146%),  $^{198}\text{Hg}$  (10,02%),  $^{199}\text{Hg}$  (16,84%),  $^{200}\text{Hg}$  (23,13%),  $^{201}\text{Hg}$  (13,22%),  $^{202}\text{Hg}$  (29,80%) и  $^{204}\text{Hg}$  (6,85%)) эффективное пленение резонансного излучения меньше, чем если бы ртуть состояла из одного изотопа. Исследования влияния изотопного состава ртути на выход резонансного излучения показывают возможность его повышения, примерно, на 10 %, изменением соотношения изотопов [13]. Однако из-за дороговизны фотохимического метода разделения изотопов эта задача не является актуальной.

Выше мы рассмотрели характеристики, в наибольшей степени определяющие эффективность работы лампы. Как было показано выше, многие факторы лимитируют выход УФ излучения. Теоретически, КПД газового разряда в парах ртути может быть очень высоким [14]. Можно показать, что при очень низких давлениях буферного газа, при некоторых смесях газов, а также при низких плотностях тока возможно получить КПД источника, близкий к 50–55%, однако практического смысла такой источник иметь не будет ввиду или малого срока службы, или низкого выхода УФ-излучения.

## Заключение

В любом случае, данные, предоставляемые светотехническими компаниями, являются очень важными для проектировщиков и производителей УФ-оборудования. На основании большого практического опыта, теоретических исследований, взаимных измерений ламп в лабораториях, соображений, приведённых выше, мы заявляем, что КПД современных мощных источников лежит в пределах 30–40 % на начало срока службы. Эти данные являются общепринятыми, многократно проверены взаимными измерениями и опубликованы в официальных каталогах вышеуказанных компаний.

Иногда производители УФ-оборудования в маркетинговых целях заявляют о сверхвысоком КПД лампы, при этом осознанно или неосознанно вводя потребителя в заблуждение, например, указывая КПД лампы без

учёта потерь в ЭПРА и распространяя этот КПД на весь УФ-комплекс в целом. Либо приводят данные со специальным ПРА, который может обеспечить такой КПД только в некоторых условиях (например, будучи расположен рядом с лампой, что зачастую неудобно и не применяется) и т.п.

Потребителю нужно помнить, что оценивать энергоэффективность УФ-комплекса необходимо исходя из всей потребляемой им мощности, аккуратно рассматривая все его режимы работы, и не поддаваться на вышеуказанные маркетинговые заявления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Храменков С.В. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 392 с.

2. Васильев А.И., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Собур Н.Н., Соколов Д.В. Технологии УФ обеззараживания для обработки воды, воздуха и поверхности // Светотехника. – 2007. – № 5. – С. 6–11.

3. Lawal, O., Dussert B., et al. Proposed method for measurement of the output of monochromatic (254 nm) low pressure uv lamps // IUVA News. – 2008. – Vol. 10, No.1. – P. 14–18.

4. Beleznai, S., Mihajlik, G., Agod, A., Marcos, I., Juhasz, R., Nemeth, Z., Jakab, L., Richter, P. High-efficiency dielectric barrier Xe discharge lamp: theoretical and experimental investigations // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2006. – Vol. 39. – P. 3777–3787.

5. Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В., Ерофеев М.В. Эксилампы – эффективные источники УФ- и ВУФ-излучения // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, № 2. – С. 201–217.

6. Pagan, J., Lawal, O. Coming of age – UVC-LED Technology Update // IUVA news. – 2015. – Vol. 17, No. 1. – P. 21–24.

7. Мое, С. RADTECH REPORT. – 2014. – ISSUE1. – P. 45–49.

8. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991., с.328–337.

9. Vasil'ev A.I. et al. Effect of a Protective Layer on the Lifetime and Output Radiation Intensity Decay Rate of Quartz Low-Pressure Gas Discharge Lamps // Technical Physics Letters. – 2006. – Vol. 32, No. 1. – P. 42.

10. Печеркин В.Я. Диссертация на соискание учёной степени к.ф.-м.н. «Исследование механизмов спада УФ-излучения и ресурса работы источников УФ-излучения с ртутной дугой низкого давления». Москва, 2007.

11. Литвинов В.С., Троицкий А.М., Холопов Г.К. Характеристики отечественных люминесцентных ламп при работе на повышенных частотах // Светотехника. – 1961. – № 1. – С. 5–10.

12. Миленин В.М., Тимофеев Н.А. О возможности повышения световой отдачи газоразрядных источников света низкого давления // Светотехника. – 1981. – № 4. – С. 6–7.

13. Petrov, G.M., Giuliani, J.L. Inhomogeneous model of an Ar-Hg direct current column discharge // Journal of Applied Physics. – 2003. – Vol. 94, No. 1. – P. 62–74.

14. Grossman, M.W., Lagushenko, R., Maya, J. Isotope effects in low-pressure Hg-rare-gas discharges // Physical Review A. – 1986. – Vol. 34, No. 5. – P. 4094.



**Михел ван дер Мееп (Michiel van der Meer), Ph.D.**

С 2000 г. работает в центральном департаменте разработки компании Philips, с 2004 – в области в УФ-

ламп, а в настоящее время – в области новых применений УФ-диодов



**Фред ван Лироп (Fred van Lierop), Ph.D.**

Инженер химик. В течение 25 лет работал в разных подразделениях компании Philips, (Голландия, Бельгия, США и Китай) в области

разработки и производства источников света. С 2011 владелец компании F&Consulting. В настоящее время главный научный специалист компании UVLampConsulting (США)



**Соколов Дмитрий Владимирович, кандидат**

техн. наук. Окончил МЭИ. Руководитель службы разработки НПО «ЛИТ»