

Н.Н. Кудрявцев\*, М.Е. Кузьменко, О.В. Митичкин, А.И. Безлепкин,  
С.В. Костюченко, В.Я. Печеркин\*\*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ И СПОСОБА ЗАЖИГАНИЯ АМАЛЬГАМНОЙ ЛАМПЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ РАЗРЯДА

*\*Московский физико-технический институт,  
Институтский пер., 9, Долгопрудный МО, г. Москва, 141700, Россия  
\*\*НПО "ЛИТ",  
ул. Краснобогатырская, 44, г. Москва, 107076, Россия*

Разряд низкого давления в смеси паров ртути и инертных газов широко используется в технике. Обусловлено это высокой (до 80%), эффективностью преобразования электрической энергии в излучение двух резонансных линий атома ртути 253,7 и 184,9 нм (переходы  $6^3P_1-6^1S_0$  и  $6^1P_1-6^1S_0$ ) [1, 2]. Источники излучения с таким жестким УФ излучением применяются для воздействия на различные среды: для обеззараживания [3], так как излучение линии с длиной волны 253,7 нм является губительным для микроорганизмов, для активации поверхности, для инициирования фотохимических реакций, литографии и т.п.

Увеличение удельной мощности ламп с ртутным разрядом низкого давления позволит применять такие лампы там, где необходима высокая мощность излучения при сохранении таких свойств ртутных ламп низкого давления, как высокий КПД и длительный срок службы. Разработка ламп повышенной мощности встречает много трудностей, одна из которых – отсутствие стандартных пускорегулирующих аппаратов (ПРА) для ртутных ламп низкого давления с мощностью свыше 100 Вт. Для питания подобных ламп можно применять электронные ПРА, которые обеспечивают поджиг и работу лампы. Их стоимость значительно превышает стоимость широко применяемого индуктивного балласта. Применение индуктивного балласта, работающего на частоте питающей сети, также может быть выгодным с точки зрения простоты конструкции и надежности в работе. Для поджига лампы в таком случае можно использовать стандартную стартерную схему со стартером тлеющего разряда [1].

Нами проведены экспериментальные исследования с целью увеличить мощность лампы при сохранении высокого КПД преобразования электрической энергии в УФ излучение. Кроме того, исследован вопрос о применимости стартерной схемы зажигания такой лампы со стартером тлеющего разряда.

Интенсивность резонансного излучения имеет максимум при определенной концентрации атомов ртути в разряде  $\sim 10^{14}$  см<sup>-3</sup> [2]. В связи с этим ртутные лампы низкого давления разрабатываются так, чтобы давление насыщенных паров ртути при температуре самой холодной точки лампы было близко к оптимальному, равному 5–10 мторр, что достигается при температуре холодной точки 40–50<sup>0</sup>С. При повышении мощности разряда лампа перегревается, и концентрация насыщенных паров ртути превышает оптимальную. Поэтому, для ламп, температура холодной точки которых во время работы превышает оптимальную, более целесообразно использовать амальгаму, равновесное давление ртути над которой гораздо ниже, чем над чистой ртутью [4].

При повышении мощности лампы с длиной разрядного промежутка 1115 мм до 160–200 Вт температура ее поверхности превышает 100<sup>0</sup>С. Для поддержания давления ртути на оптимальном уровне нами был подобран состав индиевой амальгамы, которая характеризуется малым влиянием паров металла на разряд [5], что выгодно отличает индиевую амальгаму от, например, кадмиевой амальгамы, предложенной в [4]. Предварительный состав амальгамы определялся по результатам

расчета на основе данных [6] (рис. 1), а затем он уточнялся на основе экспериментальных данных по зависимостям излучения из разряда от температуры амальгамы.

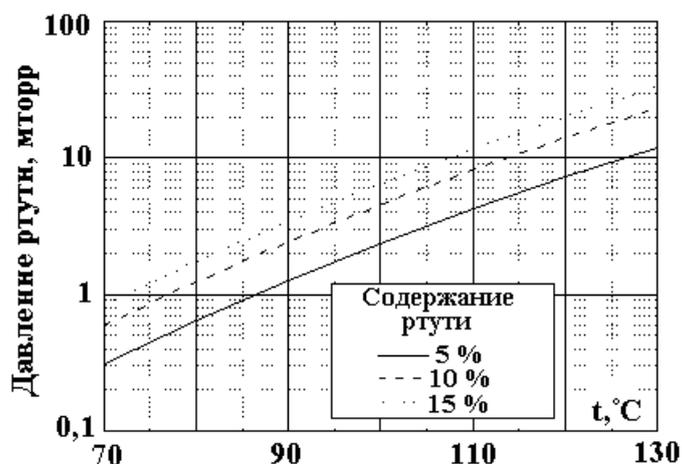


Рис. 1. Зависимость давления паров ртути над индиевой амальгамой от ее температуры.

Увеличение разрядного тока приводит к уменьшению электронной температуры, что отрицательно сказывается на возбуждении атомов ртути, приводит к уменьшению выхода УФ излучения из разряда и уменьшению КПД лампы. Есть несколько путей для увеличения электронной температуры до оптимального уровня [7], например, уменьшение диаметра разрядной трубки или применение смеси инертных газов, в которой диффузия ионов к стенкам проходит более быстро [2].

В качестве наполнителя была выбрана смесь аргона с добавкой более легкого газа неона. Диаметр разрядной трубки был уменьшен по сравнению с лампами такого типа от 38–26 до 19 мм. Уменьшение диаметра лампы приводит дополнительно к уменьшению пленения резонансного излучения в объеме и увеличению его выхода.

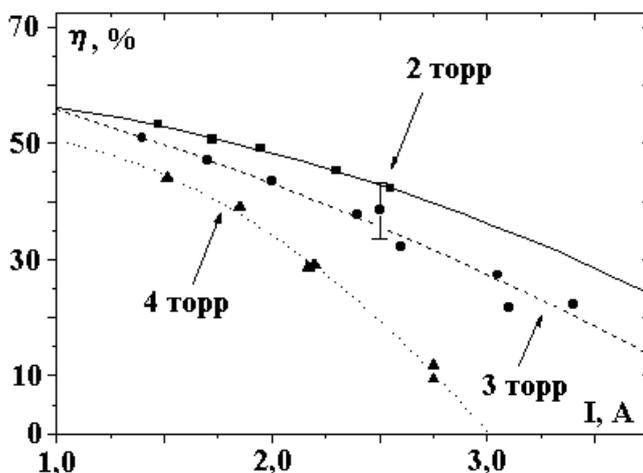


Рис. 2. КПД разряда от давления наполняющего инертного газа.

В результате экспериментов была получена сильная зависимость КПД разряда от давления инертного газа (рис. 2). Однако понижение давления в лампе отрицательно сказывается на сроке службы катода лампы [8]. Поэтому, варьируя давление смеси инертных газов в лампе, можно получить источник, оптимизированный для конкретных применений – с максимальным КПД или с продолжительным сроком службы.

Применение амальгамы и подбор состава газа позволили достигнуть КПД более 50% преобразования электрической энергии в положительном столбе разряда в излучение линии 253,7 нм. При этом электрическая мощность на единицу длины разряда составила 1,3 Вт/см. Интересно отметить, что полученная эффективность преобразования электрической энергии в УФ излучение близка к значению, полученному по аппроксимационной формуле, приведенной в [2], которая выведена на основе экспериментальных данных для ртутного разряда с небольшими плотностями тока.

Излучение лампы с подобранным составом амальгамы и наполнением измерялось в зависимости от температуры окружающей среды. Для этого лампа помещалась в кварцевый чехол, который омывался водой заданной температуры. В такой конфигурации, как показывают оценки, имеет место механизм теплопередачи с помощью теплопроводности, что обеспечивает, при постоянной мощности разряда, постоянную разность между температурой стенки колбы и температурой воды, омывающей чехол. На рис. 3 приведена зависимость УФ излучения лампы от температуры, омывающей чехол воды. УФ излучение колеблется в пределах 10% при изменении температуры колбы лампы на 70°C, что позволяет применять данный тип ламп в широком диапазоне температур окружающей среды в отличие от обычных ртутных ламп.

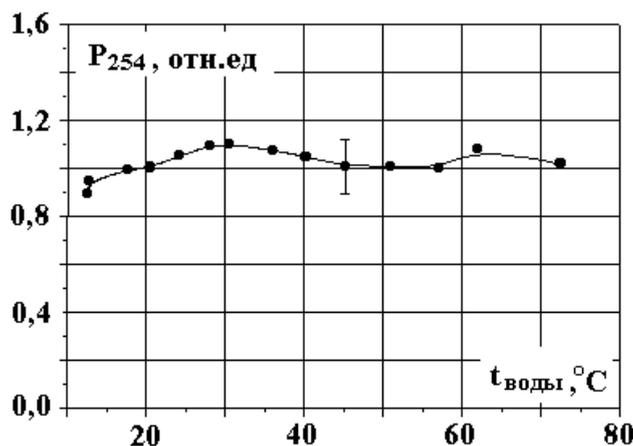


Рис. 3. Зависимость мощности УФ излучения от температуры омывающей чехол воды.

Для испытания стартеров была собрана модель установки для обеззараживания воды, в которой лампа находится в условиях, близких к условиям эксплуатации. Для автоматизации процесса испытания создан программно-аппаратный комплекс на основе персонального компьютера с установленной платой ввода-вывода. Блок-схема и принципиальная электрическая схема установки приведены на рис. 4.

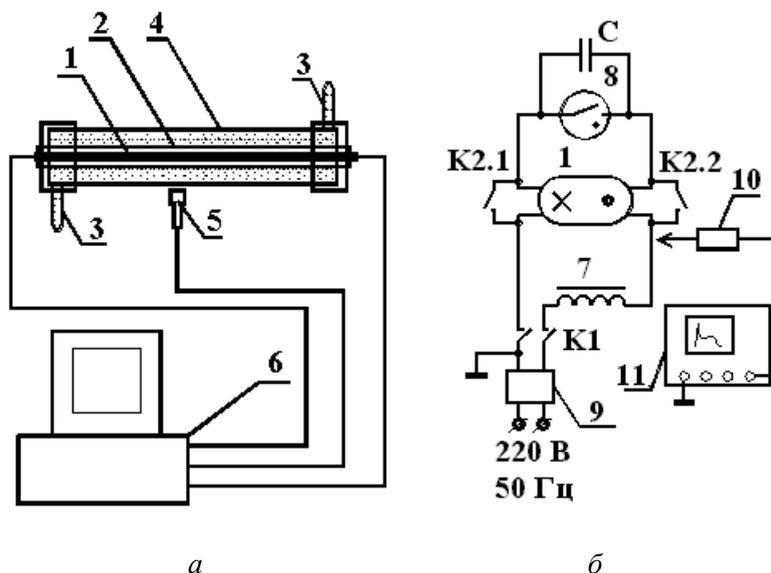


Рис. 4. а) Блок-схема экспериментальной установки для проверки стартеров.

1 — лампа; 2 — кварцевый чехол; 3 — патрубки для ввода воды; 4 — кварцевая оболочка; 5 — УФ датчик; 6 — система автоматизации. б) Принципиальная схема включения лампы. 7 — дроссель Tridonik OMB 250; 8 — испытываемый стартер; 9 — стабилизатор напряжения; 10 — высоковольтный пробник; 11 — осциллограф.

Лампа 1 помещается в кварцевый чехол 2, который омывается проточной водой, поступающей через патрубки 3. Внешняя оболочка 4 также изготовлена из кварца и пропускает УФ

излучение. Для регистрации вышедшего УФ излучения снаружи установлен датчик 5. Управление питанием лампы, регистрация сигнала датчика 5 и вывод результатов осуществляются системой автоматики 6 на базе персонального компьютера. Питание лампы осуществляется от сети 220 В, 50 Гц. В качестве балласта использован дроссель 7 Tridonic OMB 250, применяемый для питания натриевых ламп мощностью 250 Вт. Для поджига лампы служит испытуемый стартер 8 с параллельно подключенным конденсатором С. Система автоматизации управляет электромагнитными реле К1 и К2, снимает показания с датчика 5 и записывает результаты экспериментов в файл. Реле К1 подает сетевое напряжение в схему питания лампы. Реле К2 позволяет замыкать попарно выводы спиральных электродов лампы (рис. 4,6). При этом стартер подключается последовательно с дросселем к сети через стабилизатор напряжения 9 Statron. Для регистрации формы поджигающих импульсов использовался осциллограф 10 Tektronix TDS 640 А с высоковольтным пробником 11 P6015 А (полоса пропускания 75 МГц).

Для испытаний задается время, в течение которого стартер пытается поджечь лампу  $t_0$ , а также время цикла  $T > t_0$ . По показаниям датчика 5 фиксируется момент поджига лампы  $t$  и лампа отключается. Если за время  $t_0$  лампа не загорается, то программа фиксирует неудачную попытку зажечь лампу. Время  $T$  выбирается таким образом, чтобы лампа успевала остыть до первоначальной температуры. Тем самым моделируется поджиг холодной лампы.

Попытки применить для зажигания лампы стартеры для люминесцентных ламп не дали удовлетворительных результатов, так как пусковой ток, который должен коммутировать стартер, превышает 3 А. Например, стартер СК-220 выходит из строя после нескольких циклов. Стартер Philips S12, рассчитанный для зажигания ламп мощностью 115 и 140 Вт, зажигает лампу, однако время зажигания велико, а надежность – низка. Есть случаи "отказа" стартера, когда контактные пластины стартера замыкаются и остаются в таком положении до момента выключения питающего напряжения. В таком режиме электрод сильно раскален и происходит интенсивное испарение его оксидного покрытия, что приводит к выходу лампы из строя.

Дальнейшие эксперименты проводились со стартерами СНД-2 (по ТУ 3.395.001), которые применяются для зажигания неоновой лампы ДНЕСГ-500-1. Стартеры СНД-2 рассчитаны на пусковой ток 7,2–7,5 А, и их применение в нашем случае достаточно оправдано. Применение рекомендуемого для этого стартера конденсатора 0,25 мкФ приводит к повышенному искрению в стартере в пусковой период и значительному изменению формы напряжения на лампе при ее работе. Поэтому емкость подключаемого параллельно стартеру конденсатора была уменьшена до 5 нФ. Эта емкость близка к емкости конденсаторов, применяемых в стартерах для люминесцентных ламп. Подключение конденсатора с меньшим значением емкости (1–2 нФ) не оказывает влияния на пусковой режим лампы. На рис. 5 приведена типичная осциллограмма напряжения на лампе при ее зажигании в схеме со стартером СНД-2. Амплитуда импульса, который возникает при размыкании контактов стартера, достигает 1,5 кВ, что достаточно для уверенного зажигания лампы. На рис. 6 представлена зависимость времени поджига лампы от порядкового номера включения стартера.

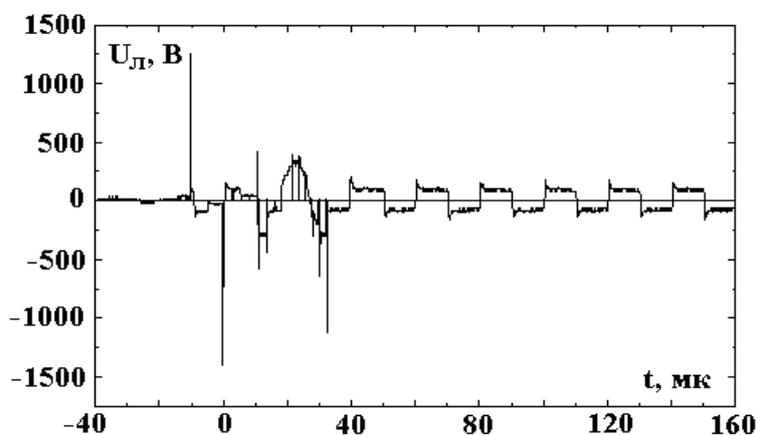


Рис. 5. Осциллограмма напряжения на лампе во время ее зажигания.

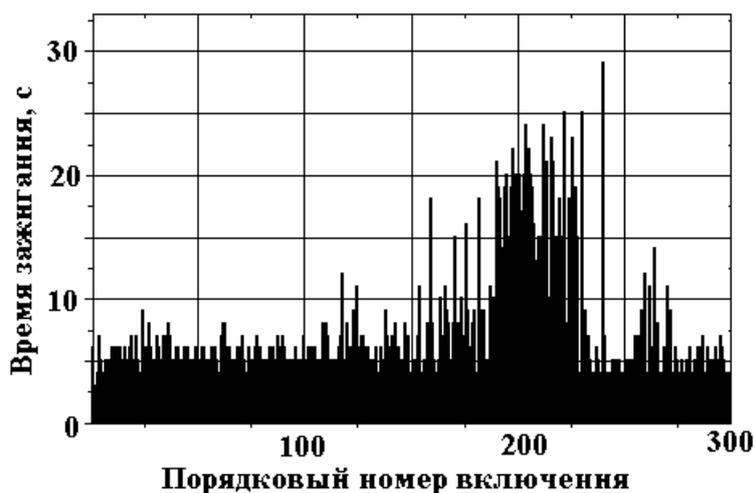


Рис. 6. Зависимость времени зажигания лампы стартером СНД-2 от порядкового номера включения.

Некоторые стартеры переставали работать через 5–15 циклов включения лампы. Возможная причина – недоочищенный материал арматуры и биметаллической пластины стартера. При зажигании в стартере тлеющего разряда металлические части подвергаются нагреву и бомбардировке электронами и ионами. Происходит очистка поверхности металла и изменение состава газового наполнения стартера, что препятствует его нормальной работе.

Тестирование каждого стартера, при котором он будет включаться несколько десятков или сотен раз, неприемлемо, так как это требует больших временных затрат, и во время такого тестирования происходит старение стартера. Поэтому для отбора пригодных к употреблению стартеров была разработана следующая методика. Сначала замыкаются контакты реле К2 и при помощи реле К1 подается питающее напряжение в течение 3 минут. При этом происходит начальное старение стартера. Затем контакты К2 размыкаются и происходит проверка способности стартера надежно зажечь лампу. Если лампа зажигается 5 раз, и время каждого зажигания менее 30 с, то стартер считается пригодным для использования. В противном случае он отбраковывается. Время между двумя попытками поджига лампы составляет 3 мин. Кроме того, визуально проверяется отсутствие тлеющего разряда в стартере при работающей лампе. Стартер СНД-2 рассчитан на 1000 включений с лампой ДНЕСГ-500-1. Экспериментально получено, что он может зажигать амальгамную лампу более 500 раз. Данная методика позволяет отбирать стартеры СНД-2 для работы с амальгамной лампой низкого давления. Она может служить как для выборочного контроля партии стартеров, так и для проверки всей партии при количестве несколько десятков штук.

Таким образом, использование индиевой амальгамы и подбор состава инертной смеси позволили существенно поднять мощность ртутного разряда низкого давления без спада КПД. Примененная амальгама позволила получить стабильный поток УФ излучения в широком диапазоне температур разрядной трубки.

Для мощности лампы 180 Вт показана возможность применения стартера СНД-2 для зажигания такой амальгамной лампы. При этом ресурс работы стартера превышает 500 включений. Предложена методика для предварительного отбора стартеров и создана установка для проведения испытаний, в которой лампа работает в условиях, близких к работе лампы в установке по обеззараживанию воды. Применяемая система автоматизации может быть также использована для оценки срока службы электродов лампы по количеству включений, которые они выдерживают.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М., 1991.
2. Миленин В.М., Тимофеев Н.А. Плазма газоразрядных источников света низкого давления. Л., 1991.
3. Якименко А.В., Костюченко С.В., Васильев С.А. и др. Опыт эксплуатации систем УФ обеззараживания сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 11. С. 17–20.
4. Патент ФРГ. № 1 086 804. 21 f 82/01.

5. Патент Великобритании. №1042183. Кл. H1 D
6. Козин Л.Ф., Нигметова Р.Ш., Дергачова М.Б. Термодинамика бинарных амальгамных систем Алма-Ата, 1977.
7. Уэймаус Д. Газоразрядные лампы. М., 1977.
8. Федоренко А.С. Экспериментальные исследования, расчетное моделирование плазмы положительного столба и создание перспективных конструкторских и технологических решений в области люминесцентных ламп низкого давления: Дис. докт. техн. наук. Саранск, Всесоюзн. научно-иссл., проектно-констр. и технологич. инст. им. А.Н. Лодыгина, 1990.

*Поступила 25.01.2000*

### Summary

The usage of Indium amalgam and special mixture of noble gases makes possible to increase the power of the low-pressure mercury discharge up to 200 watts with high efficiency. The dependence of the efficiency of the lamp with such discharge is weak in the wide range of the lamp wall temperatures. It's shown the possibility to ignite 180-watt amalgam lamp in starter scheme with glow discharge starter.

C. Dochitoiu, N. Jula

## A STATISTICAL WAY TO FIND CAUSAL FACTORS

*Technical Military Academy,  
Bd. George Cosbuc, 83–85, sector 5, Bucharest, Romania*

### Introduction

There are many cases, the influence of one or more factors on a certain process is obviously perceptible but this influence can't be found out on a deductive basis. The statistical tool provides various types of experimental data processing, which not only notice such influences but also even evaluate them.

Such an approach is very successful in many areas, for example the military, economy, sociology, health, ecology, etc.

The statistical tool used in this article is the correlation coefficient applied to empirical data considered as random sample variables. The elaborated method allows pointing out the cumulative influence of more factors and their weight using some correlation matrix properties.

### Correlation coefficient

For every random variable  $X$  we note (as in [1], [3])  $M(X)$  and  $\sigma(X)$  their mean value and standard deviation of  $X$  and  $Y$  respectively.

For the variables  $X, Y$  the number  $\rho(X, Y) = \frac{M[(X - M(X))(Y - M(Y))]}{\sigma(X) \cdot \sigma(Y)}$  is the correlation coefficient of  $X$  and  $Y$ . It has the property:  $-1 \leq \rho(X, Y) \leq 1$  and  $\rho(X, Y) = \pm 1$  if and only if the relation  $Y - M(Y) = \pm \frac{\sigma(Y)}{\sigma(X)}(X - M(X))$  is a sure event. Generally we think every relation between random variables as a sure event.

In other words, if  $\rho(X, Y)$  reaches values  $\pm 1$  it may be concluded the linear dependence of "factors"  $X$  and  $Y$  and moreover it is provided the factor  $\pm \frac{\sigma(Y)}{\sigma(X)}$  of this dependence.