

геометрический метод. Измеритель угла расходимости представлен на рис. 10.

Угол расходимости излучения в рабочей зоне ИСИ-0,8 составил около $1,5^\circ$, что в три раза превышает угловой размер Солнца, однако соответствует лучшим показателям для имитаторов аналогичного класса.

Компактность оптической системы ИСИ-0,8 позволила разместить ее в вакуумируемой приставке к стандартной вакуумной камере КС-4029, объемом $2,5 \text{ м}^3$. Общий вакуумируемый объем при этом увеличился не более, чем в 1,5 раза, что позволило использовать штатные системы вакуумирования и захолаживания. В случае использования параксиальной системы, объем камеры возрос бы не менее чем в 5 раз, что потребовало бы существенной доработки всех систем, что практически означало бы разработку новой термовакуумной установки.

Таким образом, предлагаемая оптическая система позволяет разместить имитатор Солнца практически в любой термовакуумной установке, даже первоначально для этого не предназначенней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды. Под редакцией академика Г.И. Петрова — М: Машиностроение 1971. 380 с.
2. Левитин И.В. Параболические прожекторы. ОНТИ. НКПТ СССР. 1936. С. 32.
3. Калягин Н.А. Световые приборы. М: Высшая школа. 1975. 335 с.
4. Патент № 1725768 (СССР) Осветительная система. Л.В. Козлов, Н.П. Семёнова. Опубл. в Б.И. 1992. № 13.
5. Рымов А.И., Скоблова В.И. Оптические интеграторы. Светотехника. 1988. № 8. С. 12–15.



Семёнов
Николай
Петрович,
кандидат технических
наук. Окончил Мос-
ковский авиацион-
ный институт.
Старший научный
сотрудник Института
космических
исследований РАН

Индукционная ультрафиолетовая лампа

М.В. ИСУПОВ, С.В. КРОТОВ, А.Ю. ЛИТВИНЦЕВ, И.М. УЛАНОВ

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН¹

В настоящее время применение бактерицидного УФ (БУФ) излучения для обеззараживания воды, воздуха и различных материалов находит все большее применение в различных областях промышленности, сельского и коммунального хозяйства. В последние годы принят ряд законов и руководств, подписанных Главным санитарным врачом Российской Федерации, предписывающих использовать БУФ излучение для обеззараживания воздуха в помещениях с большим скоплением людей, а также для обеззараживания воды, с целью улучшения экологической и эпидемиологической безопасности населения. Кроме того, УФ излучение в целом применяется и в других различных технологических процессах.

Одним из основных факторов, сдерживающих развитие УФ технологий, и особенно технологий УФ обеззараживания, являются большие эксплуатационные расходы на периодическую смену УФ ламп. Так, по данным НПО «ЛИТ», при эксплуатации УФ установок для обеззараживания питьевых, хозяйственных и сточ-

ных вод, стоимость периодической смены ламп составляет до 50% от всех эксплуатационных расходов. Все перечисленное выше указывает на важность создания УФ ламп большой мощности с большим сроком службы, которые могли бы повышать эффективность бактерицидных УФ установок и установок с УФ лампами для промышленного применения.

Одним из наиболее перспективных путей повышения срока службы ламп и, соответственно, удешевления УФ технологий является переход к безэлектродному принципу генерации разряда, позволяющему полностью избавиться от ограничений, связанных с процессами деградации электродов.

Среди широкого спектра различных типов безэлектродных разрядов (индукционные, емкостные, СВЧ) следует особо выделить индукционный разряд трансформаторного типа (далее — ИРТТ). ИРТТ представляет собой замкнутый плазменный виток, индуктивно связанный с первичной обмоткой посредством магнитопровода (рис. 1). Фактически, электротехническим эквивалентом ИРТТ является трансформатор с одним витком вторичной и несколькими витками первичной обмотки. В отличие от безэлектродных разрядов других типов (индукционные разряды соленоидального типа, емкостные разряды, СВЧ), генерация ИРТТ может быть осуществлена на значительно меньших (на порядок и более) частотах тока ($\sim 10\text{--}100 \text{ кГц}$, [1]). Фактически, ИРТТ можно назвать самым низкочастотным из всех безэлектродных разрядов. Соответственно, существенно упрощается (и удешевляется) конструкция ЭПРА и уменьшается уровень излучаемых радиопомех, что открывает новые возможности для создания различных безэлектродных газоразрядных уст-

1 E-mail: ulanov@itp.nsc.ru

Доклад на VI Международной светотехнической конференции. 19–22 сентября 2006, г. Светлогорск.

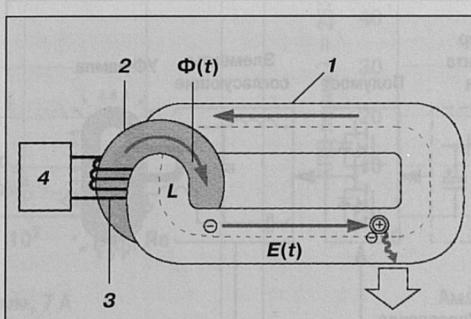


Рис. 1. Принцип генерации индуктивного разряда трансформаторного типа (ИРТ): 1 — разрядная колба; 2 — магнитопровод; 3 — первичная обмотка; 4 — источник питания

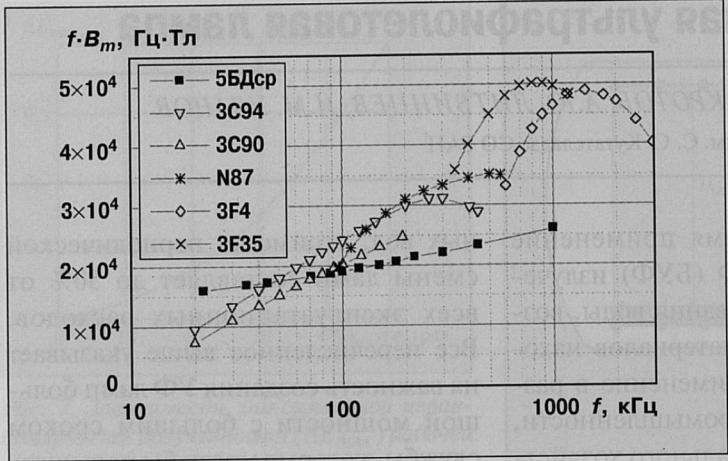


Рис. 2.
Зависимость параметра $f \cdot B_m$ от частоты тока ИРТТ(f) при постоянном значении объемных тепловых потерь (P_v), равном $0,5 \text{ Вт}/\text{см}^3$, для аморфного сплава 5БДср и силовых ферритов фирм Philips и EPCOS

ройств (плазмохимических реакторов и разрядных источников света), обладающих высоким КПД и «неограниченным» сроком службы.

С целью разработки и создания безэлектродных УФ ламп с большим сроком службы, предназначенных для использования в широком спектре УФ технологий, был проведен комплекс экспериментальных исследований ИРТТ в смеси паров ртути с аргоном (давление аргона 1 мм рт.ст.). При этом исследовались зависимости напряженности электрического поля разряда и энергетического КПД ламп в резонансной линии 253,7 нм от давления паров ртути (температуры стенки газоразрядной колбы) и плотности тока разряда, с целью оптимизации параметров разрабатываемых ламп. Также изучалась взаимосвязь между тепловыми потерями в магнитопроводе, типом ферромагнетика, частотой тока и индукцией магнитного поля в сердечнике, с целью минимизации габаритных размеров магнитопровода.

Согласно закону электромагнитной индукции, взаимосвязь между напряжением на плазменном «витке» U , частотой тока f , амплитудой магнитной индукции B_m и сечением сердечника S дается выражением

$$U = 4,44 f B_m S. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что характерные размеры сердечника обратно пропорциональны параметру $f \cdot B_m$; таким образом, для уменьшения габаритов сердечника необходимо использовать специальные сорта ферромагнетиков – аморфные магнитомягкие сплавы либо специализированные сорта силовых ферритов, обладающие наименьшим значением объемных потерь P_v на перемагничивание и вихревые токи.

Анализ динамических характеристик ферромагнетиков (рис. 2) показал, что на $f < 30–40 \text{ кГц}$ магнитопроводы на основе аморфных сплавов имеют явное преимущество перед лучшими сортами ферритов,

вследствие более слабой зависимости P_v от магнитной индукции, а на $f > 100 \text{ кГц}$ наиболее оптимальным вариантом являются специализированные сорта силовых ферритов.

Поскольку габаритный размер сердечников играет принципиальную роль, при разработке опытно-экспериментальных образцов УФ ламп был сделан выбор в пользу ферритовых колец марки N87 фирмы EPCOS и $f > 100 \text{ кГц}$.

При создании простых, надежных, с высоким КПД источников питания УФ ламп были использованы следующие принципы:

- «Минимизация» схемы управления из-за использования стандартной микросхемы драйвера электронных балластов.
- Уменьшение мощности потерь благодаря использованию современных быстродействующих полевых МОП-транзисторов с малым со-противление открытого канала.
- Сочетание этих современных транзисторов с уменьшенным зарядом управления затвором и стандартной микросхемы драйвера электронных балластов.
- Использование повышенной f (150–200 кГц) для уменьшения массо-габаритных показателей трансформаторов индукционных УФ ламп.
- Минимизация паразитных индуктивностей в сильноточных цепях схемы.
- Применение в ВЧ трансформаторах и дросселях ферромагнитных сердечников с малыми потерями.
- Применение дросселя без ферромагнитного сердечника для питания УФ ламп мощностью 200–500 Вт, для уменьшения тепловых потерь и увеличения КПД источника питания.

Функциональная схема разработанных источников питания УФ ламп индукционного типа показана на рис. 3 и отличается от типичной схемы электронных балластов наличием трансформатора в цепи согласования. Наличие схемы коррекции (контроллера) коэффициента мощности не обязательно, но позволяет повысить эффективность использования питающей сети.

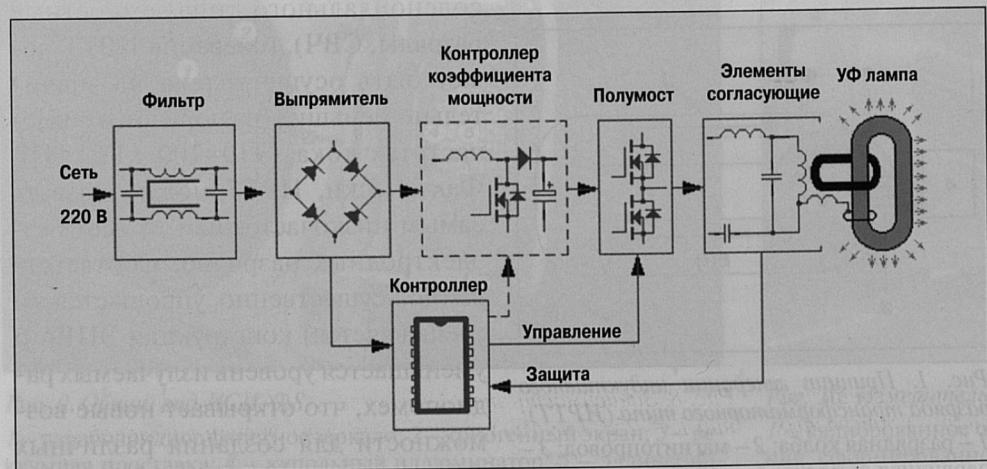


Рис. 3. Функциональная блок-схема ЭПРА для индукционной УФ лампы

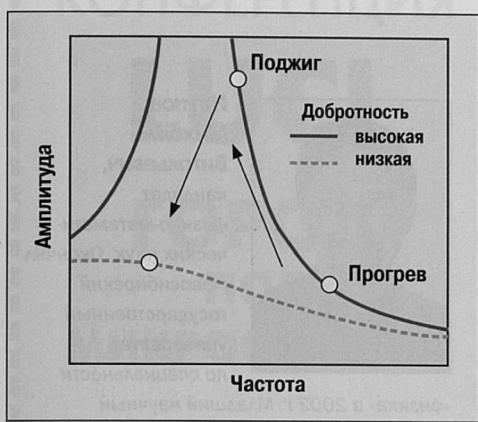


Рис. 4. Передаточная функция RCL цепи с типичными точками режимов работы

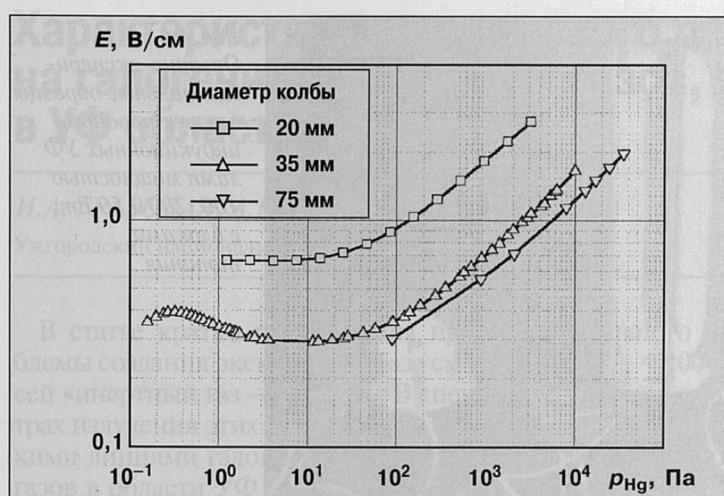


Рис. 6. Зависимость напряженности электрического поля в ИРПТ (E) от давления паров ртути (p_{Hg}) при разных диаметрах разрядной колбы и постоянной плотности тока, равной $1 \text{ A}/\text{см}^2$

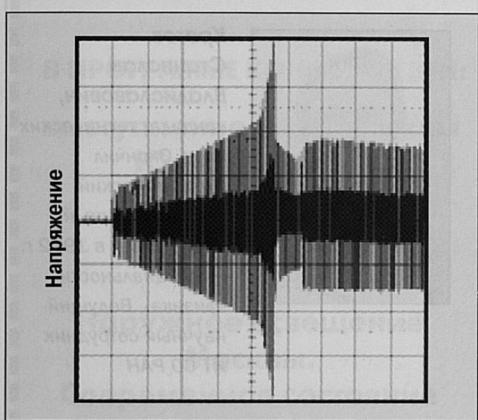


Рис. 5. Напряжение на лампе в режимах «прогрев», «поджиг» и в начале режима непрерывной работы

На рис. 4 показаны типичные точки режимов работы устройства на графике зависимости напряжения на лампе от f . До момента «поджига» лампы используются режимы «прогрев» и «поджиг» при высокой доб-

ротности цепи согласования. После «поджига» начинается режим «рабо-та» при низкой добротности цепи со-гласования из-за шунтирования цепи включенной лампой. Режимы «прогрев» и «поджиг» используются только на этапе поджига лампы при включении питающей сети. На рис. 5 показана типичная осциллограмма напряжения на лампе при ее включе-нии.

Реализация указанных принципов позволила создать унифицирован-ный ряд блоков питания УФ ламп мощностью 50, 100, 200, 300 и 500 Вт с едиными габаритными размерами ($115 \times 90 \times 60$ мм) и массой (500 г). К блокам питания ламп мощностью 300 и 500 Вт предъявляются дополнительные требования по монтажу, с целью обеспечения дополнитель-

ного съема небольших излишков тепловой энергии.

На рис. 6 показана зависимость на-пряженности электрического поля ИРПТ (E) от давления паров ртути при нескольких диаметрах разрядной колбы. Из рисунка видно, что при низких давлениях паров ртути ($\sim 1-10$ Па) увеличение диаметра разрядной колбы с 20 до 35 мм приводит к существенному уменьшению E (в 2,4 раза). Соответственно, согласно выражению (1), габаритные раз-меры магнитопровода также могут быть существенно уменьшены. С дальнейшим увеличением диаметра колбы E меняется значитель-но слабее. Кроме того, в ряде практиче-ских приложений существуют огра-ничения на максимальные габарит-ные размеры лампы, и потому, по на-

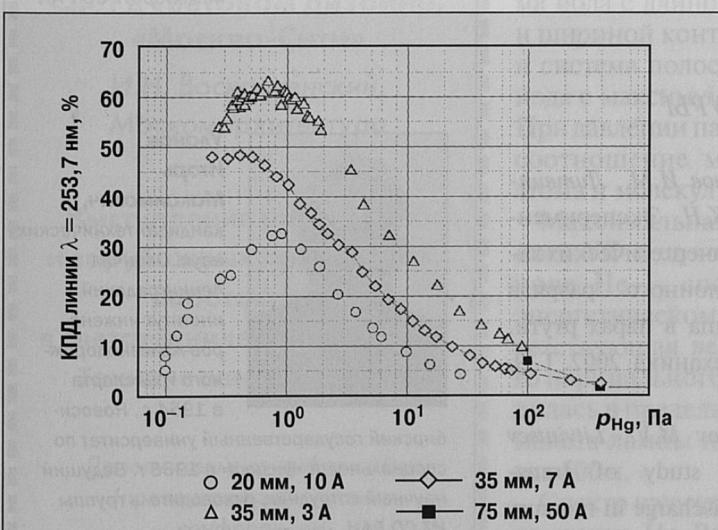


Рис. 7. Зависимость энергетического КПД лампы в резонансной линии $\lambda = 253,7 \text{ нм}$ (η_e) от давления паров ртути (p_{Hg}), при разных значениях тока ИРПТ и диаметра разрядной колбы

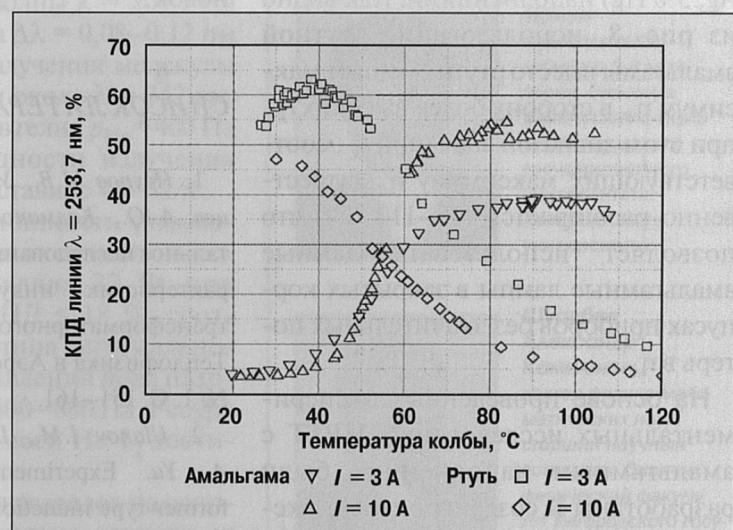


Рис. 8. Зависимость энергетического КПД лампы резонансной линии $\lambda = 253,7 \text{ нм}$ (η_e) от температуры стенки разрядной колбы (t_k), при двух значениях тока и двух видах наполнения: рутутном и амальгамном. Диаметр разрядной колбы 35 мм

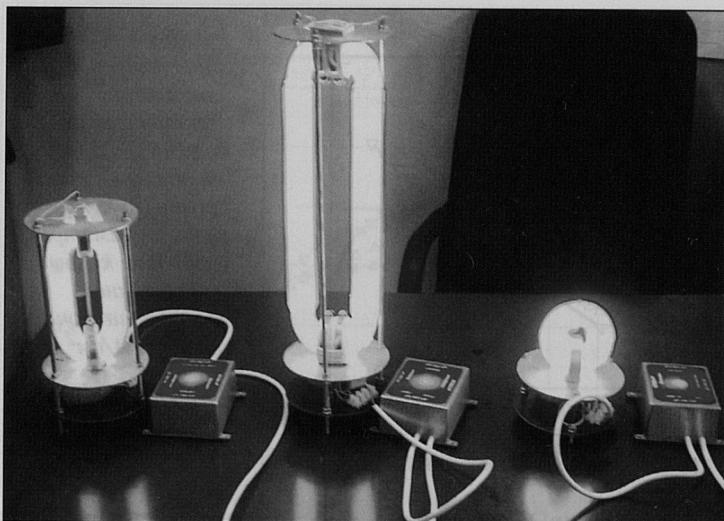


Рис. 9.
Опытно-экспериментальные образцы безэлектродных индукционных УФ ламп мощностью 100, 200 и 50 Вт с блоками питания

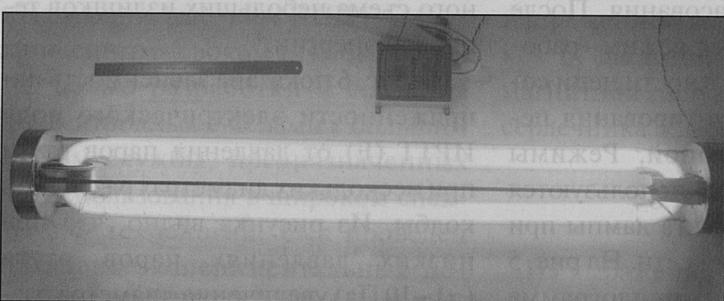


Рис. 10.
Опытно-экспериментальный образец безэлектродной индукционной УФ лампы мощностью 500 Вт с блоком питания. Для сравнения — линейка длиной 30 см

шему мнению, для создания безэлектродных индукционных ламп наиболее предпочтительны разрядные колбы диаметром (30–40) мм.

На рис. 7 показана зависимость энергетического КПД лампы в резонансной линии ртути $\lambda = 253,7$ нм (η_e) от давления паров ртути, а на рис. 8 – зависимость η_e от температуры стенки разрядной колбы (t_k) для ИРТТ с ртутным и с амальгамным (90% In, 5% Ag, 5% Hg) наполнениями. Как видно из рис. 8, использование ртутной амальгамы вместо ртути смещает максимум η_e в сторону более высоких t_k , при этом диапазон значений t_k , соответствующих максимуму η_e существенно расширяется (70–110 °C), что позволяет использовать данные амальгамные лампы в закрытых корпусах приборов без значительных потерь в η_e .

На основе проведенных экспериментальных исследований ИРТТ с амальгамным наполнением были разработаны и созданы опытно-экспериментальные образцы индукционных УФ ламп мощностью 50, 100, 200 и 500 Вт (рис. 9 и 10 [2]) с $\eta_e \sim (30–35)\%$. Следует отметить, что

электродных аналогов лампы мощностью 500 Вт на сегодня не существует. Применение мощных безэлектродных УФ ламп взамен электродных меньшей мощности, помимо существенной экономии за счет повышенного срока службы, могло бы дать и существенный выигрыш, связанный с уменьшением габаритных размеров и металлоемкости обеззараживающих УФ установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исупов М.В., Уланов И.М., Литвинцев А.Ю., Колмаков К.Н. Экспериментальное исследование энергетических характеристик индукционного разряда трансформаторного типа в парах ртути. Технотехника и Аэромеханика. 2002. Т. 9. № 1. С. 151–161.
2. Ulanov I.M., Isupov M.V., Litvinцев A. Yu. Experimental study of transformer-type induction discharge in mercury vapor. Contributed papers of V International conference «Plasma physics and plasma technology». Minsk, Belarus, September 18–22, 2006. Vol. 1. P. 102–105.



Исупов
Михаил
Витальевич,
кандидат
физико-математи-
ческих наук. Окончил
Новосибирский
государственный
университет
по специальности
«физика» в 2002 г. Младший научный
сотрудник Института теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН (ИТ СО РАН)



Кротов
Станислав
Владиславович,
кандидат технических
наук. Окончил
Новосибирский
государственный
университет в 1972 г.
по специальности
«физика». Ведущий
научный сотрудник
ИТ СО РАН



Литвинцев
Артем
Юрьевич,
инженер. Окончил
Новосибирский
государственный
архитектурно-строите-
льный университет по
специальности
«инженер-строитель»
в 2000 г. Ведущий
инженер ИТ СО РАН



Уланов
Игорь
Максимович,
кандидат технических
наук. Окончил
Ленинградский
институт инжене-
ров-железнодорож-
ного транспорта
в 1954 г., Новоси-
бирский государственный университет по
специальности «физика» в 1966 г. Ведущий
научный сотрудник, руководитель группы
ИТ СО РАН