

ОБОРУДОВАНИЕ СТЕНДОВОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ

УДК 628.94:681.782.473: 620.1

МОЩНЫЙ ШИРОКОФОРМАТНЫЙ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА ТРУБЧАТЫХ КСЕНОНОВЫХ ЛАМПАХ

© 2009 г. А. Г. Бедрин, канд. физ.-мат. наук; А. П. Гурьев, канд. техн. наук;
С. П. Дашук, канд. техн. наук

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: contact@niiki.ru, bedrin@sbor.net

Описаны конструкция и технические характеристики широкоформатного излучателя на основе 20 специальных трубчатых ксеноновых ламп, позволяющего облучать объекты площадью до 1 м². Требуемые амплитудно-временные характеристики светимости излучателя формируются посредством компьютерного профилирования импульсов тока в каждой лампе. При этом для генерации световых импульсов секундной длительности используется система сетевого тиристорного энергопитания электрической мощностью 3 МВт. Приведены данные о структуре светового поля излучателя и результаты физического моделирования импульсов сложной формы с максимальной облученностью до 350 Вт/см². Излучатель предназначен для проведения исследований воздействия мощного светового излучения на оптико-электронные приборы, оптические и конструкционные материалы.

Ключевые слова: световое старение, широкоформатный излучатель, светимость, облучённость, структура светового поля.

Коды OCIS: 230.6080; 350.5400

Поступила в редакцию 06.03.2009

Многолетний опыт эксплуатации оптико-электронных приборов показывает, что продление срока их службы представляет собой актуальную и достаточно сложную научно-техническую проблему. Одним из ограничивающих долговечность факторов внешнего воздействия, существенно влияющих на работоспособность аппаратуры, является излучение Солнца и мощных техногенных вспышек. Прогнозирование изменений характеристик материалов и приборов при импульсном, длительном постоянном или циклическом воздействии излучения невозможно без проведения испытаний на световое старение. При этом одним из методов получения информации о ресурсных возможностях аппаратуры является метод ускоренных испытаний, в котором время воздействия τ заменяется повышенным значением облученности ε при сохранении соотношения $\varepsilon\tau = \text{const}$.

В результате лабораторное моделирование позволяет обойти трудности, связанные с постановкой длительного натурного эксперимента, дает существенный экономический эффект и возможность многократного повторения испытаний.

Для обеспечения повышенного значения удельной плотности световой энергии на единицу поверхности облучаемого объекта одновременно с большой площадью светящегося тела требуется широкоформатный излучатель, работающий в квазистационарном режиме. В конструкции такого излучателя в качестве источников света предпочтительно использовать панель отпаянных газоразрядных ламп, обладающих рядом преимуществ по сравнению с открытыми плазменными излучателями. К ним относятся отсутствие загрязнений и возмущений от плазмы разряда, большое внутреннее сопротивление,

обеспечивающее хорошее согласование с источником питания, высокий ресурс работы.

Поставленная задача была решена ранее путем построения многолампового облучательного устройства [1] на основе трубчатых ламп. Установка для генерации световых импульсов секундной длительности состояла из группы 14 стандартных ксеноновых ламп типа ИНП-16/580, расположенных горизонтально друг над другом в одной плоскости. Принципиальным отличием ее от излучателей импульсного и дугового действия [2, 3] является использование трубчатых импульсных ламп в нестандартном, форсированном по энергии, режиме сетевого электропитания.

При эксплуатации такой решетчатой многоламповой панели с однонаправленными токами были выявлены две существенные проблемы. Во-первых, при горизонтальном расположении ламп ухудшались условия их воздушного конвективного охлаждения. При термическом разогреве кварцевые колбы ламп испытывали прогиб и в ряде случаев разрушались. Во-вторых, электродинамическое взаимодействие параллельных токов приводило к отклонению плазменных каналов к стенкам колб в приэлектродных областях ламп за счет действия пондеромоторных сил. В условиях высокой подводимой к излучателю мощности отклонения приобретали значительное значение, вплоть до прилипания к стенкам

колб, особенно для крайних ламп панели. В результате появлялось оплавление током стенок кварцевых колб вблизи электродов, матирование и загрязнение внутренних поверхностей ламп. Это приводило к снижению светового потока и к возможности сквозного проплавления кварца, разгерметизации и разрушения колбы, что в целом ограничивало предельно допустимую вкладываемую электрическую мощность и ресурс ламп.

В настоящей работе описан новый многоламповый излучатель с размером светящейся поверхности $0,7 \times 0,5$ м, свободный от указанных недостатков и позволяющий обеспечить высокую суммарную энергию светового потока в широком спектральном диапазоне. Ниже рассмотрены особенности конструкции излучателя, диагностика генерируемого светового поля и результаты экспериментального моделирования световых импульсов сложной формы.

Структурная схема установки с ламповой панелью и диагностическим комплексом приведена на рис. 1. Модернизированный излучатель содержит 20 специальных трубчатых ламп с системой полуцилиндрических отражателей, размещенных вертикально в одной плоскости с постоянным шагом установки (рис. 2). Обеспечение конвективного теплообмена с окружающей средой за счет образования воздушных зазоров между отдельными лампами и зазоров между

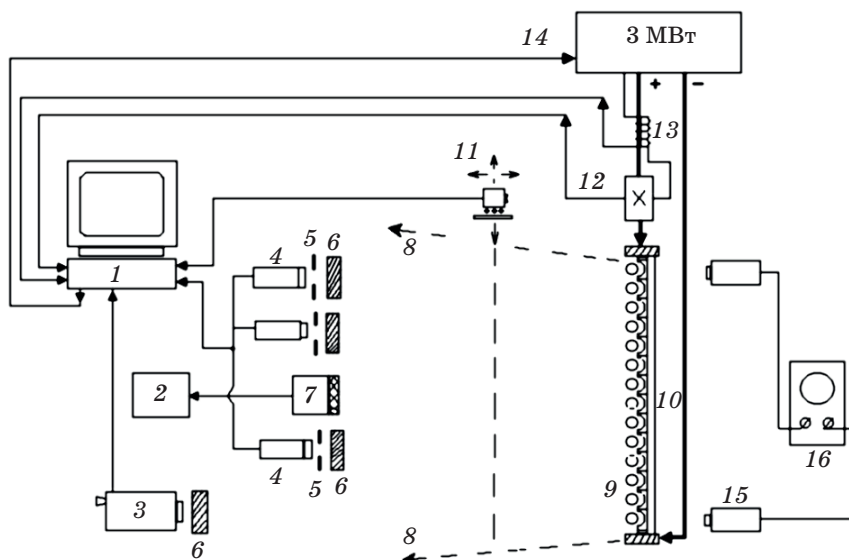


Рис. 1. Структурная схема установки с диагностическим комплексом. 1 – измерительно-управляющий компьютер, 2 – цифровой вольтметр, 3 – видеокамера, 4 – фотодатчики, 5 – диафрагма, 6 – светофильтр, 7 – калориметр, 8 – световое поле излучения, 9 – ламповая панель, 10 – комбинированный экран-отражатель, 11 – анализатор светового поля, 12 – датчики напряжения, 13 – датчики тока, 14 – тиристорный агрегат электропитания, 15 – ИК радиометры, 16 – цифровой осциллограф.

лампами и отражателями предотвращает перегрев ламп при длительных импульсах излучения. Ксеноновые лампы с разрядным промежутком длиной 530 мм расположены параллельно друг другу и имеют однонаправленные токи. Из них 14 средних ламп запитаны от сетевого тиристорного агрегата электропитания, остальные – от емкостного накопителя энергии, что позволяет на одной установке генерировать импульсы излучения различной длительности как последовательно друг за другом, так и совместно в виде комбинированного импульса. От стандартных ламп типа ИНП 16/580 новые лампы при одних и тех же габаритных размерах отличаются укороченным на 50 мм разрядным промежутком, пониженным до 300 Тор давлением ксенона и массивными электродами специальной формы из торированного вольфрама. Колбы изготовлены из особо чистого плавленого кварца толщиной 1,2 мм. Увеличенная масса и измененная форма наконечников электродов в виде полусферы позволили повысить нагрузочную способность ламп.

Лампы импульсного разряда (по 3 шт. с каждого края панели) запитаны от секционированного емкостного накопителя. Емкость секции, приходящаяся на одну лампу, составляет $C = 2400$ мкФ, максимальное напряжение $U = 3$ кВ. Ток разряда в импульсном режиме достигает 5 кА, длитель-

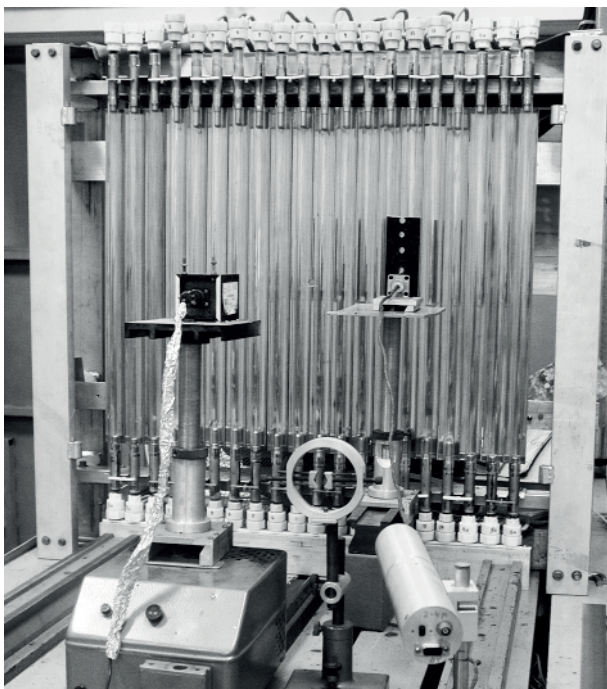


Рис. 2. Общий вид широкоформатного излучателя (20-ламповой панели) с приборами диагностического комплекса.

ность светового импульса составляет $(4-6) \times 10^{-4}$ с. Параметры управления объединенной системой энергопитания специально отработаны для адаптации схемных узлов конденсаторного и сетевого модулей к импульсному и квазистационарному дуговому режимам работы излучателя. Специфика работы источников, предназначенных для питания газоразрядных нагрузок, состоит в повышенной вероятности возникновения аварийных режимов, что ужесточает требования к системам защиты. Для предохранения тиристорного преобразователя от динамических перегрузок, внутренних и внешних коротких замыканий, возникающих при включении преобразователя толчком под полную нагрузку, либо при резком увеличении выходного тока в результате его регулирования по требованиям эксплуатации были разработаны дополнительные технические решения, обеспечивающие отключение сверхтоков при несрабатывании основных систем защиты [4, 5].

Решение задачи моделирования световых импульсов заданной формы и длительности, источником которых является электрический разряд в газе, напрямую связано с реализацией возможности управления по определенному алгоритму амплитудно-временными характеристиками разрядного тока. Специализированный управляемый энергокомплекс, основой которого является тиристорный агрегат электрической мощностью 3 МВт, позволяет формировать токовые импульсы заданной формы. Управление тиристорным агрегатом и настройка параметров импульса осуществляются с помощью ЭВМ и специально разработанного в оболочке *BorlandC++* программного обеспечения. Формирование импульсов излучения осуществляется путем управления разрядным током каждой лампы по следующему алгоритму:

- высоковольтным импульсом синхронно пробиваются газоразрядные промежутки всех ламп панели,
- при разряде емкостной батареи инициирования в лампах формируются плазменные каналы, соответствующие по уровню токов их рабочим значениям в сотни ампер,
- производится подхват лампами основного тока тиристорного источника питания,
- специальными фильтрами проводится подавление пульсаций рабочего тока,
- посредством компьютерного управления амплитудно-временной формой импульсов тока каждой лампы [6] формируются заданные характеристики импульса излучения секундной длительности.

Как показала практика, явления электромагнитного взаимодействия токов в лампах оказывают существенное отрицательное влияние на эксплуатационные характеристики ламповой панели вследствие отклонения плазменных каналов к стенкам колб ламп вблизи нагретого электрода. Было установлено, что чем далее к краям от центра панели расположена лампа, тем сильнее проявление этого эффекта. Для устранения отклонений плазменного разряда был разработан и технически реализован способ защиты ламповой панели от термического разрушения [7], заключающийся в применении специальных компенсирующих токопроводов с дополнительными изменяемыми токами. При этом компенсация внутренних пондеромоторных сил производилась создаваемыми внешними пондеромоторными силами. Нарастивание подводимой к излучателю мощности за счет увеличения тока в лампах сопровождалось соответствующим увеличением дополнительных токов в компенсирующих токопроводах, тем самым уменьшая отклонение разряда создаваемым внешним электромагнитным полем. На рис. 3 приведены фотографии разряда в приэлектродных областях ламп излучателя в двух случаях – без компенсации внутренних пондеромоторных сил и с использованием способа устранения электромагнитного прижатия токового шнура. Видно, что в случае компенсации пондеромоторных сил отсутствует отклонение разряда к стенкам ламп, уменьшается локализация тепловой мощности в приэлектродных областях и обеспечивается ее равномерное распределение вдоль стенок, что снижает местный перегрев и вероятность разрушения кварцевых колб. Разработанные способ и устройство позволили избежать возможных катастрофических последствий термического разрушения панели ламп при подводимой к излучателю электрической мощности до 3 МВт.

С целью повышения облученности в рабочем пятне излучателя применялись две концентрирующие оптические системы фоконного типа. Они представляют собой полированные отражатели из алюминиевого сплава АМГ-6 прямоугольной или призматической формы, устанавливаемые по периметру ламповой панели. Первый вариант конструкции выполнен в виде плоских экранов с переменным углом наклона, второй – в виде раструба с выходным световым отверстием 250×250 мм. При использовании плоских экранов имеется возможность изменения углов отражения периферийного потока излучения от ламп: поток направляется на требуемую рабочую зону. В ре-

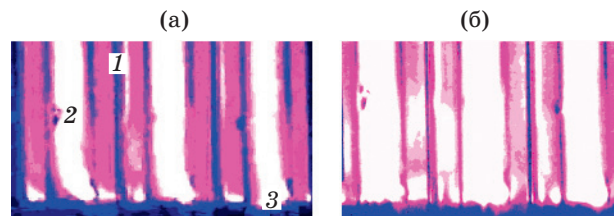


Рис. 3. Фотографии разряда в лампах излучателя. а – без компенсации пондеромоторных сил, б – с компенсирующими устройствами. 1 – кварцевые стенки, 2 – токовый канал, 3 – катоды ламп.

зультате снижается неравномерность пространственной структуры светового поля в областях, соответствующих краям ламповой панели. Влияние призматического фокона на концентрацию излучения проявляется особенно на расстояниях 20–30 см от ламповой панели: облученность увеличивается здесь примерно в 2 раза.

Сравнение значений облученности в центре рабочего пятна и на его границах определялось с помощью специально созданного сканирующего анализатора светового поля [8]. Принцип действия анализатора – одномерное механическое сканирование специальным фотоприемником относительной освещенности на различных высотах параллельно излучающей поверхности ламповой панели. В качестве датчиков измерения освещенности использованы кремниевые фотодиоды, показания которых пересчитываются в абсолютные значения облученности. Измерения распределения облученности от ламповой панели, проведенные с помощью анализатора, показали, что в плоскости облучаемого объекта сформирована достаточно однородная пространственная структура светового поля. Неравномерность облученности по рабочему пятну, начиная с расстояний более 10 см от ламповой панели, не превышает 20%. Сканирующий анализатор работоспособен в условиях интенсивных засветок (до 350 Вт/см²) и обеспечивает регистрацию распределения освещенности при облучении объектов площадью до 1 м² с пространственным разрешением до 2×10⁻⁵ м². Информация от анализатора светового поля поступает в автоматизированную систему управления и диагностики.

Программно-аппаратный диагностический комплекс стенда позволяет измерять спектрально-энергетические и амплитудно-временные параметры излучения с выводом информации на любой цифровой носитель, обеспечивает многооконную визуализацию зарегистриро-

ванных сигналов в виде осциллограмм с изменяемыми чувствительностью и временной разверткой. Эффективное использование оптических методов регистрации излучения многоламповых облучательных устройств возможно лишь в условиях применения измерительных систем со значительным количеством датчиков и многоканальной диагностики. Основными параметрами излучателя являются полная световая мощность и спектральный состав излучения, а также динамические характеристики развития процесса свечения. Проблема моделирования мощных световых импульсов потребовала также разработки нестандартных методов и средств измерений энергии импульса, абсолютного значения облученности в рабочей зоне излучателя, температуры облучаемых образцов, светопропускания испытуемых оптических материалов и др. [9–11].

Контроль энергетических и световых параметров излучателя осуществляется автоматизированной системой управления и диагностики (рис. 1), включающей в себя как аппаратуру измерения параметров излучения, так и каналы регистрации процесса воздействия излучения на образец. Напряжение на электродах и ток разряда каждой лампы измеряются соответственно с помощью делителей напряжения и бесконтактных датчиков Холла. Регистрация импульсов излучения в ультрафиолете, видимой и инфракрасной (ИК) областях осуществляется набором фотоэлементов. Спектральная яркость источника света измеряется одновременно на нескольких длинах волн с помощью специально созданного многоканального измерителя цветовой температуры [12]. Специальный двухканальный блок ИК радиометров предназначен для отдельного наблюдения за нагревом электродов и кварцевых колб ламп. При этом температуру электродов измеряли методом оптической пирометрии в области прозрачности кварца $\Delta\lambda = 2,6\text{--}4,5$ мкм датчиком на основе неохлаждаемого фоторезистора с фильтром, отсекающим собственное излучение газового разряда в ИК области. Для определения температуры кварцевой оболочки служил пироприемник со встроенным фильтром на область $\Delta\lambda = 7\text{--}14$ мкм, в которой кварц практически не прозрачен. Для регистрации свечения ламповой панели в реальном масштабе времени была разработана схема видео наблюдения, содержащая цифровую ПЗС камеру, которая с помощью платы видео ввода соединена с компьютером. Видеокамера позволяла регистрировать процессы инициирования поджига, развития токовых

каналов, стационарного свечения ламп, а также характерные особенности светового разрушения объектов, подвергаемых испытаниям. Энергетическая экспозиция измерялась на различных расстояниях от ламповой панели по оси симметрии термодинамическими калориметрами с графитовой и металлической приемными площадками.

Разработанный комплекс оптической диагностики используется как для контроля за поведением испытуемых объектов, так и для определения предельных эксплуатационных характеристик источников излучения и предотвращения опасных перегрузок в квазистационарных режимах питания ламп с естественным воздушным охлаждением. При формировании импульса прямоугольной формы длительностью $t = 300$ мс вкладываемая в каждую лампу допустимая электрическая мощность составляла $N = 190$ кВт, а энерговклад – $W = 57$ кДж. При увеличении длительности импульса (до $t = 3$ с и более) лампы работали в режиме еще большей перегрузки: мощность, подводимая к лампе от источника питания, фиксировалась на уровне $N = 45$ кВт, а энергия в импульсе определялась временем свечения лампы ($W \geq 135$ кДж). Из литературы известно, что предел нагрузки для импульсных трубчатых кварцевых ламп по рассеиваемой в лампе мощности, отнесенной к 1 см^2 наружной поверхности рабочей части баллона, в частотном режиме составляет $10\text{--}20$ Вт/см² [13]. В нашем случае максимальный ток разряда в используемом режиме перегрузки составлял 375 А при мощности на лампе $N = 215$ кВт. Следовательно, средняя рассеиваемая в лампе мощность в квазистационарном дуговом режиме превышала 500 Вт/см², что ранее было присуще только для коротких (длина рабочей части $10\text{--}20$ мм) ламп с интенсивным принудительным охлаждением.

Выявить критерий предельно допустимого режима работы позволяет аппаратура контроля за состоянием ламп. Ресурс работы ламп определяется двумя основными параметрами. Во-первых, это состояние электродов и колбы лампы после определенного количества включений. Во-вторых, при удовлетворительном состоянии электродной системы лампа может потерять эмиссионную способность из-за изменения состава рабочего газа и потери прозрачности стенок в результате конденсации испаряющегося материала электродов. Главной причиной эрозии электродов и повреждения стенок колбы является термический перегрев. Причем перегреваться могут как электроды под действием ионной и

электронной бомбардировки, так и стенки колбы при непосредственном контакте с плазмой разряда. Для надежной интерпретации результатов испытаний ламп на предельных по вкладываемой энергии режимах вплоть до разрушения важно знать температуры предельного нагрева как электродов ламп, так и кварцевой колбы. В условиях квазистационарной работы лампы устанавливается определенное распределение температуры, которое можно зафиксировать и использовать для автоматического поддержания безопасного режима работы. При этом особенно важна динамика изменения их значений в приэлектродной зоне. Диагностика деградации эмиссионной способности лампы осуществлялась путем регистрации температуры нагрева электродов и кварцевой колбы с помощью разработанных ИК радиометров. При этом в течение импульса свечения в режиме реального времени непрерывно измеряются амплитуда разрядного тока в каждой лампе панели и плотность генерируемого светового потока. Эксперименты показали, что при малой длительности светового импульса колба лампы не успевает нагреться до опасных температур. Так при длительности импульса до 1 с температура средней части колбы составила около 80 °С, а вблизи электродов достигала 120 °С, в то время как температура катода оценивалась в 350 °С. По мере увеличения длительности токового импульса температура электродов быстро увеличивается, и при длительности более 3 с температура анода, раскаленного до малинового свечения, достигает 1300 °С. Для снижения тепловой нагрузки в специально изготовленных лампах ИПП-16/530 [14] была изменена форма рабочей поверхности электродов ламп и вдвое увеличена масса вольфрамового наконечника при сохраненных параметрах конструкции ввода. В совокупности с применением компенсирующих токопроводов для устранения отклонения разряда к стенкам ламп это позволило снизить температуру колбы и электродной системы и увеличить предел нагрузки по рассеиваемой в лампе мощности. Центрировка столба разряда (рис. 3б) положительно сказалась на его стабилизации и на излучательных характеристиках ламповой панели в целом при большой подводимой к излучателю электрической мощности.

Выполненные измерения пространственного распределения светового поля при использовании ламп двух типов позволили построить зависимость облученности от расстояния до ламповой панели (рис. 4). Максимальная облученность составила $\epsilon = 350 \text{ Вт/см}^2$. Особенности динамики

изменения тока, а, следовательно, температуры плазменного разряда ксеноновых ламп оказывают существенное влияние на спектральный состав излучения. Вид спектров излучения ламповой панели, полученных при различных режимах электропитания, во многом определяется удельной мощностью разряда. Расчет удельной вкладываемой в лампу мощности проведен по формуле $p = 4W/\pi d^2 l t$, где W – электрическая энергия, d , l – внутренний диаметр и длина разрядного промежутка лампы, t – длительность моделируемого импульса света. В диапазоне значений $p = 0,27\text{--}1,36 \text{ кВт/см}^3$ (что соответствует квазидуговому режиму работы ламп с яркостной температурой порядка 5000 К) получена зависимость спектрального состава излучения от вкладываемой электрической мощности (рис. 5). Соотношение между интенсивностями линий Хе I в ИК диапазоне и фона зависит от удельной

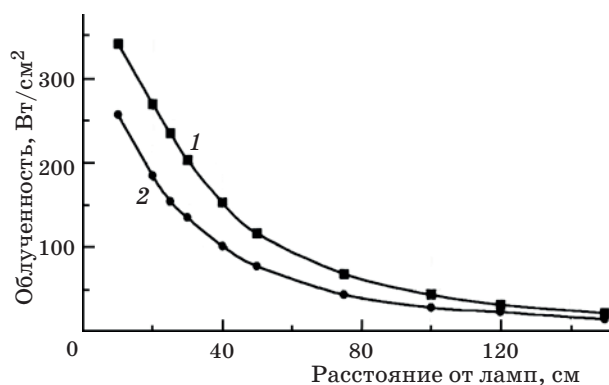


Рис. 4. Зависимость облученности от расстояния до ламповой панели при использовании. 1 – модифицированных ламп ИПП 16/530, 2 – стандартных ламп ИПП 16/580.

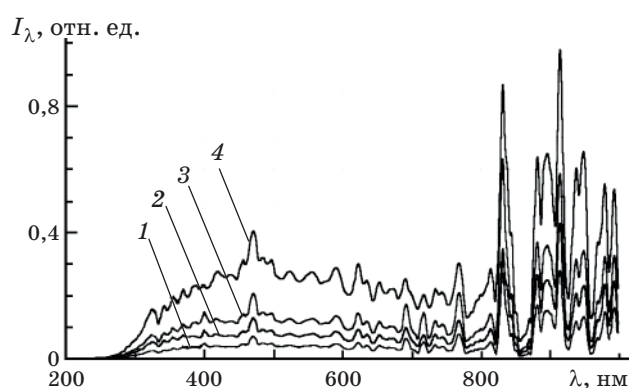


Рис. 5. Изменение вида спектра излучения ламп в квазидуговом режиме в зависимости от вкладываемой удельной электрической мощности. 1 – $p = 0,27 \text{ кВт/см}^3$, 2 – $p = 0,45 \text{ кВт/см}^3$, 3 – $p = 0,7 \text{ кВт/см}^3$, 4 – $p = 1,36 \text{ кВт/см}^3$.

мощности в разряде: интенсивность фона в области 300–800 нм усиливается при увеличении мощности.

Технические характеристики широкоформатного излучателя

Электрическая мощность, кВт	до 3000
Ток разряда в одной лампе, А:	
в сетевом режиме	до 500
в импульсном режиме	до 5000
Длительность импульса, с	
в сетевом режиме	до 10
в импульсном режиме	5×10^{-4}
Яркостная температура в сетевом режиме (в области $\Delta\lambda = 300\text{--}785$ нм)	5000 К
Площадь облучения, м ²	до 1
Максимальная облученность, Вт/см ²	350
Погрешность воспроизведения временного хода облученности, %	10
Неравномерность распределения энергетической экспозиции по пятну облучения, %	≤ 20.

Предложенная широкоформатная установка для генерации мощного оптического излучения дает возможность расширения области испытаний в сторону больших значений облученности с одновременным повышением надежности измерений характеристик испытываемых объектов. Созданная многоламповая панель метрологически аттестована и удовлетворяет требованиям физического моделирования импульсов сложной формы. Опыт проводившихся испытаний и систематизация полученных экспериментальных результатов показали, что широкоформатная ламповая панель электрической мощностью 3 МВт имеет следующие преимущества: возможность непосредственно или с помощью концентрирующей оптической системы создания на поверхности испытываемого образца высокой плотности энергии излучения, а также облучение образца с изоляцией от контакта с плазмой разряда, что обеспечивает условия исключительно светового разогрева. Форсирование по энергии режимов работы излучателя, хорошее согласование с источником электропитания, профилирование импульса тока в каждой лампе позволяют генерировать импульсы излучения заданной формы и длительности. Созданный излучатель с автоматизированным комплексом нестандартной оптической диагностики (в том числе для достижения предельных мощностей), многократность повторения опытов и большой ресурс работы ламп делают возможным про-

ведение исследований воздействия светового излучения (в том числе ускоренных испытаний на световое старение, воздействие излучения Солнца и мощных техногенных излучателей) на крупноформатные образцы конструкционных и оптических материалов, а также оптико-электронные приборы и элементы.

В заключение авторы благодарят за помощь в спектральных исследованиях лампового излучателя своих коллег А.Ф. Аушева и В.Г. Докучаева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аушев А.Ф., Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Дашук С.П. Применение трубчатых ламп для генерации световых импульсов секундной длительности // В сборнике трудов VI Международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2004. Т. 1. С. 159–163.
2. Басов Ю.Г., Прокудин В.С., Томин О.А., Энтин В.И. Мощная импульсная облучательная установка // Светотехника. 1990. № 8. С. 10–12.
3. Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Rogovcev П.Н. Световой испытательный стенд для моделирования воздействия импульсов секундной длительности // В сборнике трудов Международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2000. Т. 1. С. 133–135.
4. Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Дашук С.П. Способ защиты тиристорного преобразователя в аварийном режиме // Патент России. № 2319272. 2008.
5. Дашук С.П. Способ защиты тиристорного преобразователя // Патент России. № 2319273. 2006.
6. Бедрин А.Г., Дашук С.П. Способ управления амплитудно-временными характеристиками светимости лампы // Патент России. № 2238617. 2004.
7. Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Дашук С.П. Способ защиты многолампового излучателя света от термического разрушения // Патент России. № 2291515. 2007.
8. Аушев А.Ф., Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Дашук С.П. Пространственное распределение светового поля широкоформатного излучателя // В сборнике трудов VII международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2006. Т. 1. С. 222–226.
9. Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Дмитриев Е.И., Rogovcev П.Н., Рублев А.В., Старченко А.Н., Филиппов О.К. Разработка методов и аппаратуры для диагностики мощных потоков некогерентного излучения // В сборнике трудов международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2002. С. 117.
10. Гурьев А.П., Дмитриев Е.И., Rogovcev П.Н., Филиппов О.К. Способ измерения энергетической

освещенности от мощных источников оптического излучения // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 4. С. 29–32.

11. *Бедрин А.Г., Венглюк В.И., Гурьев А.П., Соколова Г.А.* Разработка и создание средств автоматизированного управления и диагностики светового испытательного стенда // В сборнике трудов Международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2000. С. 128–130.
12. *Аушев А.Ф., Бедрин А.Г., Туркин А.Н.* Быстродействующий измеритель абсолютных спек-

ральных яркостей и цветовой температуры // В сборнике трудов международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2008. С. 363.

13. Импульсные источники света / Под ред. Маршак И.С. М.: Энергия, 1978. 472 с.
14. *Бедрин А.Г., Гурьев А.П., Пузыревский В.И.* Излучательные характеристики широкоформатной ламповой панели // В сборнике трудов международной конференции “Прикладная оптика”. СПб.: ГОИ, 2008. Т. 1. С. 288–292.