

УДК 537.5

## **Спектрально-энергетические характеристики импульсного генератора направленных потоков высокотемпературного оптического излучения**

*Макарчук А. А., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Плазменные энергетические установки»*

*Научный руководитель: Камруков А.С., к.т.н., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[kamrukov@bmstu.ru](mailto:kamrukov@bmstu.ru)*

### **Введение**

В настоящее время активно изучаются и совершенствуются методы обеззараживания сточных вод, пищевой упаковки, медицинского оборудования, питьевой воды, воздуха и продуктов питания. Однако из всего многообразия существующих средств обеззараживания лишь немногие предполагают возможность дистанционного применения. В тоже время зачастую расстояние до зараженного объекта, на которое возможно приблизиться для его обеззараживания, заранее не известно и может составлять десятки метров, поэтому требуется надежный и универсальный способ дистанционного обеззараживания, а также простой метод оценки необходимого времени обработки объекта для получения им требуемой дозы излучения.

Одним из возможных решений проблемы дистанционного обеззараживания является использование генератора направленного высокоинтенсивного излучения, спектр излучения которого содержит значительную долю коротковолнового ультрафиолета. В качестве такого генератора в данной работе рассматривается прожекторная установка на основе импульсной короткодуговой ксеноновой лампы высокого давления.

Приводятся результаты экспериментального определения излучательных характеристик такой системы, а также оценка возможности её использования для дистанционного обеззараживания.

### **Экспериментальная установка**

Объектом исследования являлась прожекторная установка на основе импульсной короткодуговой лампы высокого давления ДКсШ-3000. Параболоидный отражатель имел внешний диаметр  $D = 306$  мм и фокусное расстояние  $F = 75$  мм).

На рис.1 представлена схема экспериментального стенда для определения излучательных характеристик прожекторной установки.

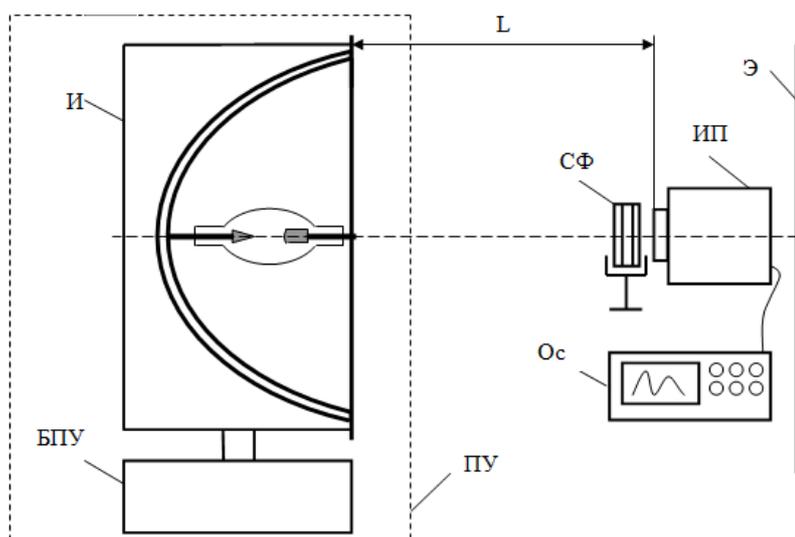


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: Э - экран белый рассеивающий; СФ – светофильтры; Ос – осциллограф; ИП – прожекторная установка; БПУ – блок питания и управления; И – излучатель

Импульсы напряжения с частотой  $f = 60$  Гц и амплитудой  $U = 1650$  В подавались блоком питания на короткодуговую лампу, установленную в фокусе отражателя. Электрическая энергия разряда составляла 4 Дж.

Спектральные излучательные характеристики прожекторной установки определялись с помощью многоканального измерительного комплекса «Спектр-01». Аналоговые сигналы с комплекса «Спектр-01», пропорциональные мгновенным значениям спектральной плотности энергетической облученности в плоскости оптических зрачков фотоприемников, подавались на вход цифрового осциллографа Tektronix TDS - 1002В.

### Фокусировка прожекторной системы

Для достижения наибольшей эффективности прожекторной системы центр светящего тела должен совпадать с фокусом параболического отражателя. Однако заранее положение светящего тела (импульсного дугового разряда) неизвестно, оно изменяет пространственное положение при каждом следующем импульсе. При таких свойствах светящего тела можно говорить о фокусе прожекторной установки лишь в том смысле, что в среднем (по времени) именно из этой точки пространства выходит наибольшая часть светового потока, преобразуемого затем в световой поток, направленный параллельно геометрической оси отражателя.

Методы фокусировки создающие изображение, например коллимационные и автоколлимационные [1], в данном случае не приемлемы, т.к. протяженность светящего тела велика (по сравнению с фокусным расстоянием отражателя) и такая система не создает четкого изображения источника. Применение метода фокального пятна [2] возможно, но требует специального оборудования: зеркала с размером апертуры гарантированно перекрывающим пучок прожектора. Кроме того метод оказывается не достаточно чувствительным т.к. пятно излучения в фокусе такого прожектора не имеет четких границ и нестабильно по времени.

В данной работе для фокусировки использовался проекционно-теневого метод [3], малочувствительный к нестабильности положения светящей плазменной дуги и пригодный для использования в условиях обычных производственных помещений.

Схема метода показана на рис.2. На излучатель прожектора устанавливалась непрозрачная маска  $M$  с двумя отверстиями, равноудаленными от оси излучателя. Расстояние между отверстиями составляло  $D = 260$  мм. На белый рассеивающий экран  $\mathcal{E}$  проецировались изображения катода  $K$  и анода  $A$  неподвижные в силу неподвижности самих электродов.

При использовании данного метода фокусировки, о качестве фокусировки судят по величине расстояний между двумя изображениями катода и двумя изображениям анода, которые однозначно связаны с осевым положением лампы.

Положение лампы менялось с помощью регулировочных винтов до тех пор, пока не было выполнено равенство:

$$D = \frac{H + h}{2}, \quad (1)$$

где  $H$  - расстояние между двумя изображениями катода,  $h$  – расстояние между двумя изображениями анода. Равенство было выполнено при  $h = 80$  мм и  $H = 440$  мм.

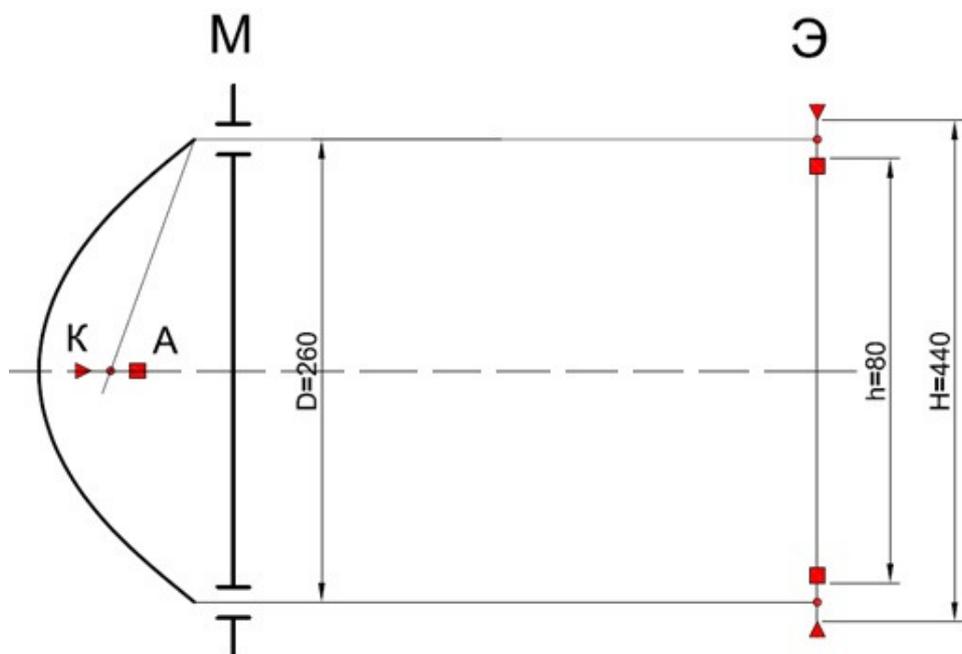


Рис. 2. Схема проекционно-теневого метода фокусировки:  $K$  – катод;  $A$  – анод;  $M$  – маска излучателя;  $\text{Э}$  – экран белый рассеивающий

При этом положении лампы в излучателе прожекторная установка считалась сфокусированной, т.к. если сдвинуть лампу влево по оптической оси – полусумма в правой части станет больше расстояния между отверстиями  $D$ , если же сдвинуть лампу вправо – меньше; таким образом, именно при выполнении равенства (1) центр светящего тела находится в фокусе параболического отражателя.

После фокусировки измерялись спектрально-энергетические характеристики излучения прожекторной установки на общей геометрической оси лампы и отражателя.

### **Исследование спектральных характеристик прожекторной системы**

Измерения проводились по схеме, показанной на рис.1. Полученные осциллограммы сигналов приведены на рис.3.

Непостоянство формы и расположения светящего тела (дугового импульсного разряда) приводит к существенной разнице между средними и мгновенными оптическими характеристиками прожектора. Усредненная спектральная сила излучения является ключевой характеристикой при расчете времени, требуемого для получения единицы площади мишени заданной дозы излучения. Для измерения этой характеристики использовался режим работы осциллографа, усредняющий сигнал по 128 импульсам.

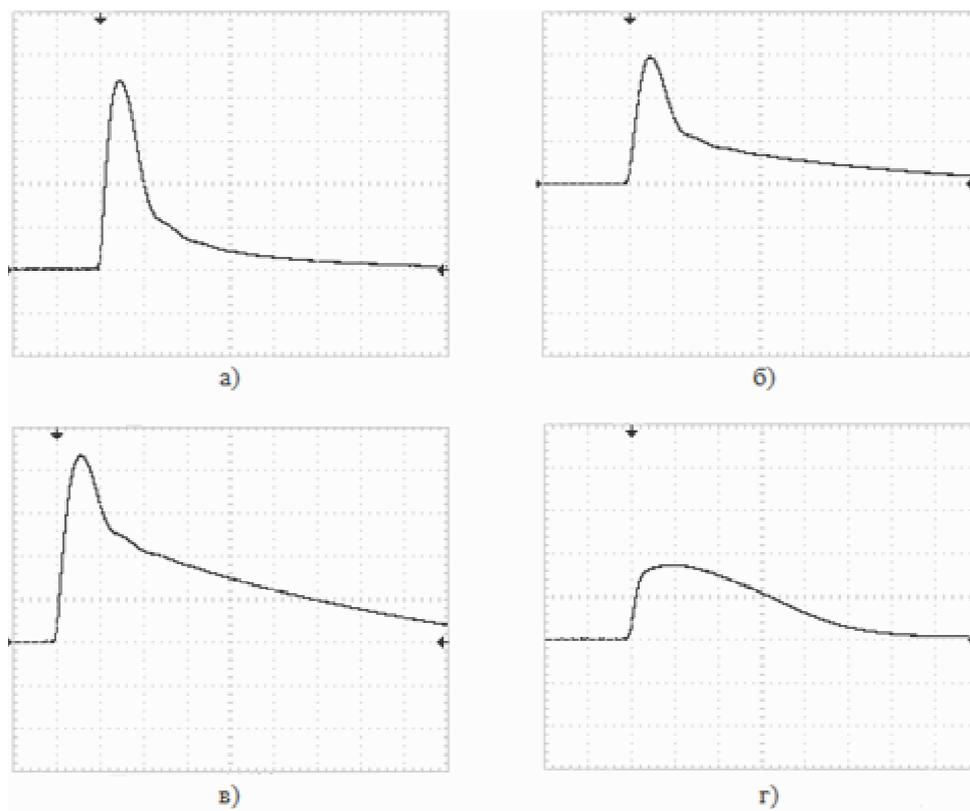


Рис. 3. Осциллограммы усредненной спектральной плотности энергетической облученности на входе измерительного канала, соответствующего длине волны:

а - 270 нм; б - 430 нм; в - 555 нм; г - 1000 нм;

Развертка осциллограмм а, б, в – 10 мкс, осциллограммы г – 25 мкс

Обработка результатов измерений проводилась по методике, описанной в [4].

По амплитудному значению сигнала  $U_\lambda$  определялась спектральная облученность в плоскости оптического входа измерительного канала  $E_\lambda$ :

$$E_\lambda = A_\lambda \cdot U_\lambda \cdot k \left( \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{нм}} \right), \quad (2)$$

где  $A_\lambda$  — калибровочный коэффициент для соответствующего фотодатчика,  $k$  — коэффициент ослабления светового потока соответствующим светофильтром.

По полученному значению спектральной облученности  $E_\lambda$  и известному расстоянию  $L$  до источника излучения рассчитывалась спектральная сила излучения  $I_\lambda$ :

$$I_\lambda = E_\lambda \cdot L^2 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{ср} \cdot \text{нм}} \right). \quad (3)$$

В результате обработки осциллограмм получены временные зависимости спектральной силы излучения, представленные на рис.4.

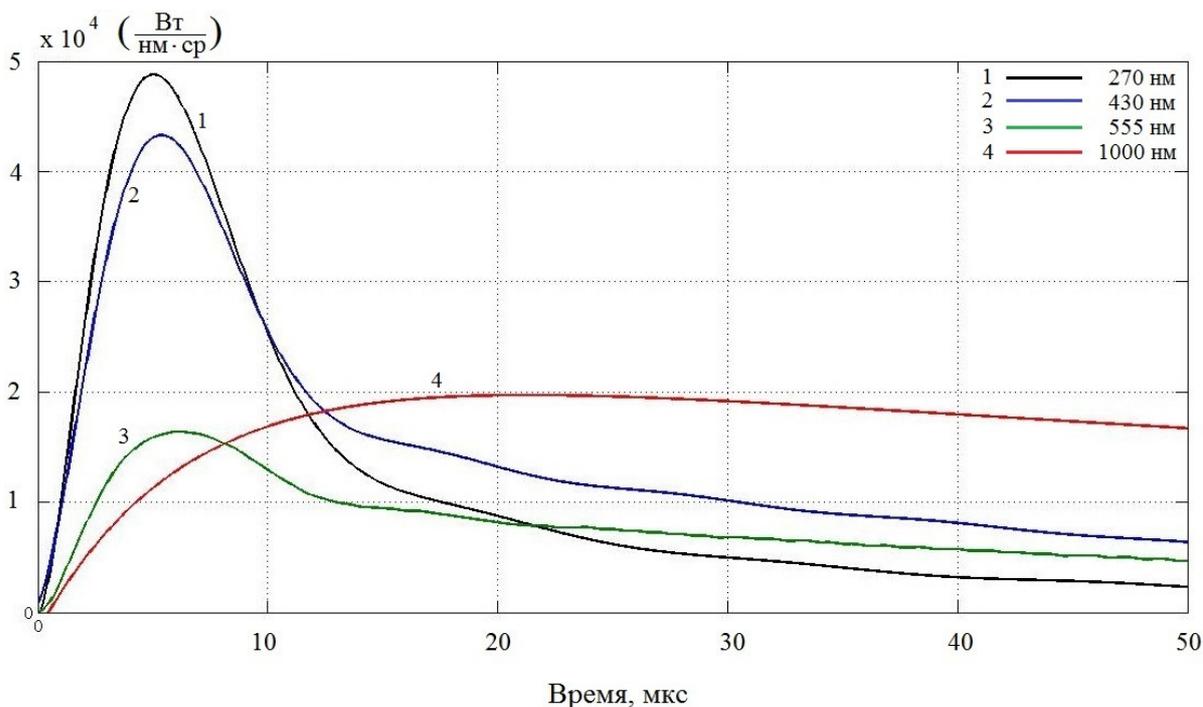


Рис. 4. Усредненные по 128 импульсам осевые спектральные силы излучения прожектора.

Линии на графике соответствуют измерительным каналам:

1 – 270 нм; 2 – 430 нм; 3 – 555 нм; 4 – 1000 нм;

Значения силы излучения для измерительного канала 1000 нм увеличены в 10 раз

В таблице приведены основные характеристики импульсов излучения на различных длинах волн.

Основные характеристики импульсов излучения на различных длинах волн

Длина волны	$\lambda = 270$ нм	$\lambda = 430$ нм	$\lambda = 555$ нм	$\lambda = 1000$ нм
Время достижения максимального значения $t_{max}$ , мкс	4,0	4,5	5,5	26,0
Макс. амплитуда $A_{max}$ , Вт/нм·ср	$4,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^3$
Время на полувысоте $\tau_{0,5}$ , мкс	8,5	9,0	17,0	84,0

По известным временным зависимостям спектральных сил излучения (рис.4) можно построить спектр излучения прожектора в различные моменты времени. На рис. 5 в качестве примера представлен спектр излучения для момента времени  $t = 4,0$  мкс, соответствующего максимуму излучения в УФ области спектра.

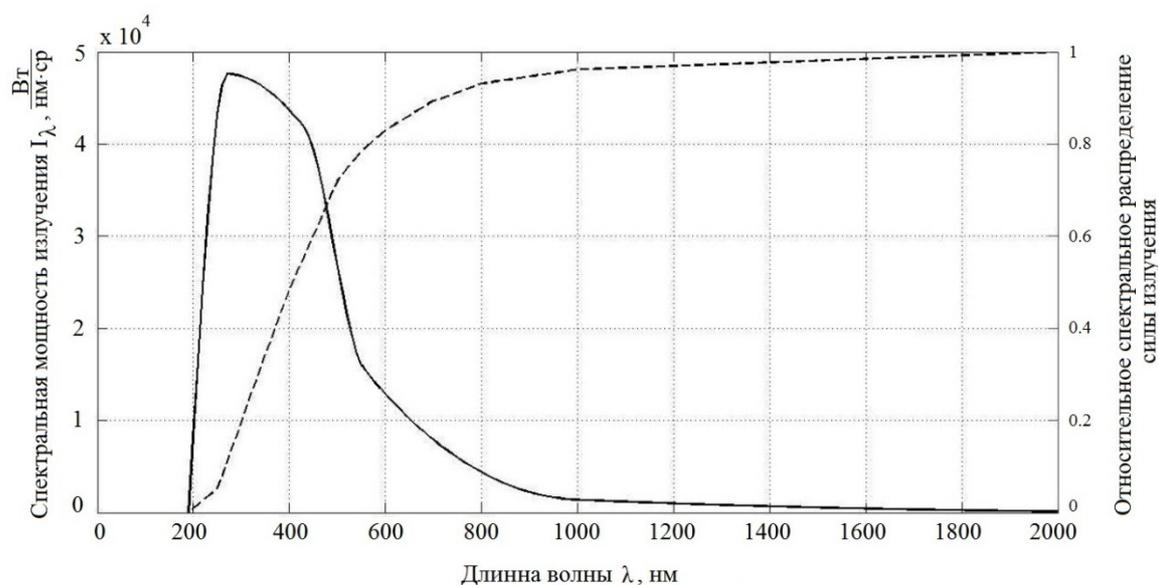


Рис. 5. Спектр излучения импульсного прожектора: *Сплошная линия* - спектр излучения при  $t = 4,0$  мкс; *пунктирная линия* - относительная спектральная мощность излучения

#### Оценка возможности дистанционного обеззараживания

Сила излучения в коротковолновой (наиболее биологически активной) области спектра вычислялась по формуле

$$J_{БК} = \int_{190}^{330} I_{\lambda} \cdot d\lambda = 5,2 \frac{MBm}{cp}, \quad (4)$$

где  $I_{\lambda}$  – спектральная мощность излучения (рис.5).

В качестве характерного времени импульса бактерицидного излучения принималась длительность импульса излучения на длине волны  $\lambda = 270$  нм (рис.4)  $\tau_{БК} = 8,5$  мкс. Угловая плотность энергии коротковолнового излучения в этом случае составит

$$E_{\theta} = J_{БК} \cdot \tau_{БК} = 44,2 \frac{Дж}{cp}. \quad (5)$$

Тогда на некотором выбранном расстоянии  $l$ , например,  $l = 14$  м облученность мишени коротковолновым ультрафиолетовым излучением будет равна

$$E_s = \frac{E_{\theta}}{l^2} = 2,3 \cdot 10^{-2} \frac{мДж}{см^2}. \quad (6)$$

В работе [5] приведены результаты экспериментов по обеззараживанию поверхностей с помощью импульсного излучения со сплошным спектром: эксперименты проводились с несколькими видами поверхностей (металл, стекло, дерево), несколькими видами микроорганизмов (*Escherichia coli*, *Salmonella dublin*, *Staphylococcus aureus* и др.) и при различной степени исходной обсемененности (от  $10^5$  мкт/см<sup>2</sup> до  $2 \cdot 10^7$  мкт/см<sup>2</sup>).

Согласно этим результатам, для 100 % обеззараживания поверхности при исходной обсемененности  $2 \cdot 10^7$  мкт/см<sup>2</sup> достаточно дозы облучения  $E_0 = 220$  мДж/см<sup>2</sup> (доза определена для излучения сплошного спектра в диапазоне длин волн от 190 нм до 330 нм).

Тогда время, необходимое для дистанционного ( $l = 14$  м) обеззараживания объектов, при частоте следования импульсов исследованного прожектора  $f = 60$  Гц, составит

$$\tau = \frac{E_0}{E_s} \cdot \frac{1}{f} = \frac{220}{2,3 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{60} = 160 \text{ с} \quad (7)$$

или менее 3-х минут. При этом характерный диаметр пятна излучения (по уровню половинной интенсивности), согласно измерениям, составляет ~ 35 см.

Данные оценки показывают принципиальную возможность применения прожекторных систем на основе импульсных короткодуговых ксеноновых ламп для дистанционного обеззараживания биологически зараженных объектов.

#### Список литературы

1. Гвоздева Н.П., Коркина Е.И. Прикладная оптика и оптические измерения. М.: Машиностроение, 1976. 383 с.
2. Иващенко П.А. Измерение параметров лазеров. М.: Изд-во стандартов, 1982. 167 с.
3. Архипов В.П., Кулебякина А.И. Проекционно-теневой метод фокусировки прожектора на основе параболического отражателя и дуговой лампы. // VIII Международный симпозиум по радиационной плазмодинамике (Москва, 8-11 декабря 2009 г.): тез. докл. М., 2009. С. 42 – 48.
4. Камруков А.С., Кулебякина А.И. Инженерные методы расчета импульсных ксеноновых ламп. М.: ООО НИЦ «Инженер», 2010. 222 с.
5. Камруков А.С., Козлов Н.П., Шашковский С.Г., Яловик М.С. Новые биоцидные ультрафиолетовые технологии и аппараты для санитарии, микробиологии и медицины // Безопасность жизнедеятельности, 2003. № 1. С. 32 – 40.