

---

---

# ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ И МАТЕРИАЛОВ

---

---

УДК 536.2

В. А. КОРАБЛЕВ, Ю. Т. НАГИБИН, А. В. ШАРКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛАМПЫ НАКАЧКИ ЛАЗЕРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Приводится описание экспериментальной установки для испытаний импульсных ламп накачки лазера и результаты исследований влияния условий охлаждения на спектральный состав и мощность тепловыделений.

**Ключевые слова:** твердотельный лазер, лампа накачки, система охлаждения, водовоздушное охлаждение, селективно-поглощающие добавки, спектр излучения.

Импульсные газоразрядные лампы являются наиболее распространенным источником накачки активных элементов твердотельных лазеров [1]. Так как плотность тепловыделений на поверхности баллона лампы велика, то для создания компактной и экономичной системы охлаждения необходимо предусмотреть возможность интенсификации теплообмена путем увеличения скорости потока теплоносителя, вдува в поток жидкости мелкодисперсных пузырей воздуха и использования процесса кипения на поверхности.

Для анализа эффективности этих методов на кафедре компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга СПбГУ ИТМО была создана экспериментальная установка, главным элементом которой является проточный калориметр. Конструкция калориметра схематично представлена на рис. 1. Импульсная лампа 1 помещена в канал охлаждения 2, наружной стенкой которого является трубка из кварцевого стекла. На входе и выходе канала установлены чувствительные элементы многоспайной дифференциальной термопары, с помощью которой можно измерить перепад температуры в охлаждающей жидкости, возникший вследствие тепловыделений в баллоне лампы и поглощенного в толще жидкости оптического излучения.

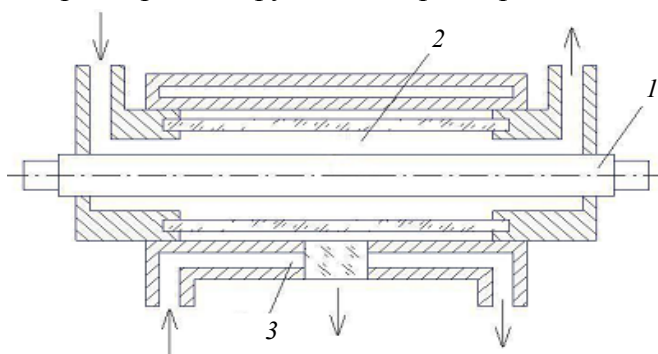


Рис. 1

Канал охлаждения 2 помещен в оболочку 3. Внутри оболочки сделан кольцевой канал для прокачки теплоносителя, охлаждающего внутреннюю поверхность оболочки, на которую падает мощный световой поток от дуги лампы. Для эффективного поглощения излучения поверхность оболочки, обращенная к лампе, зачернена. В оболочке 3 сделано окно из кварцевого стекла для исследования спектра излучения лампы. На входе и выходе кольцевого канала также установлены

чувствительные элементы многоспайной дифференциальной термопары, позволяющей измерить нагрев жидкости вследствие воздействия излучения лампы.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Жидкостные каналы калориметра 1 последовательно подключены к жидкостному термостату 2 типа Т16А. Расход циркулирующей жидкости в замкнутом контуре измерялся с помощью ротаметра. Для питания лампы накачки ИНП 7/70 использовался блок питания 3 типа БП 5000. Излучение лампы через окно в корпусе калориметра и оптическую систему 4 подавалось в спектрограф 5 типа ИСП-51. Для измерения сигнала от термопар использовались цифровой вольтметр 6 типа В7-21 и потенциометр 7 типа НЗ7.

Для создания водовоздушного мелкодисперсного потока в каналах охлаждения установлен компрессор 8, воздух из которого закачивается в поток жидкости через форсунку.

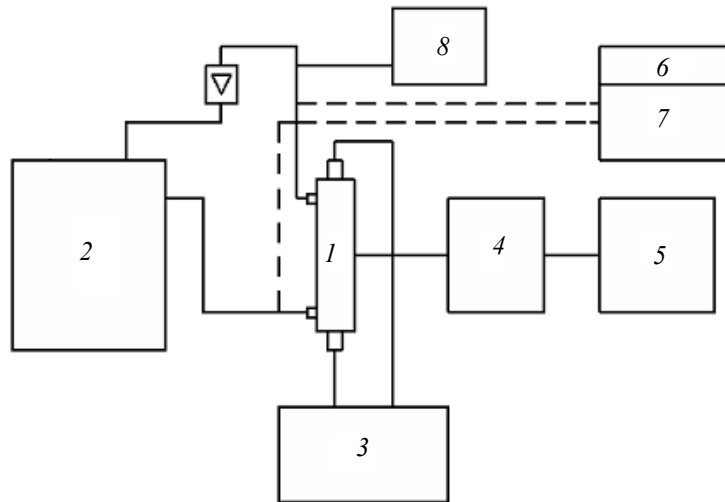


Рис. 2

Мощность поглощенной энергии  $\Phi_{1,2}$  в каналах калориметра определяется по формуле [2]

$$\Phi_{1,2} = cG\Delta t_{1,2},$$

где  $G$  и  $c$  — расход и удельная теплоемкость теплоносителя;  $\Delta t_{1,2}$  — перепад температур между входом и выходом каналов охлаждения лампы и оболочки.

На описанной экспериментальной установке исследовались следующие режимы охлаждения лампы:

- охлаждение дистиллированной водой при различных расходах: от 0,07 до 0,12 кг/с;
- охлаждение двухфазным потоком при расходах воды 0,1 кг/с и воздуха  $4,10^{-5}$  кг/с;
- охлаждение потоком воды с температурой, близкой к температуре кипения;
- охлаждение дистиллированной водой с введением селективно-поглощающих добавок (хромпика) в концентрациях  $n$  от  $2,5 \cdot 10^{-7}$  до  $1,5 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>.

Для выяснения влияния режима охлаждения на спектральные характеристики излучения производилось фотографирование спектра излучения лампы при вышеуказанных режимах на спектрографе ИСП-51. Для идентификации длин волн дополнительно фотографировался спектр излучения железа. Проявленная и зафиксированная фотопластинка исследовалась на микрофотометре, который вычерчивал плотность почернения сфотографированного спектра.

Для расчета спектральной плотности  $E$  лучистого потока была проведена градуировка фотометра по планковскому спектру излучения температурной лампы.

Исследования спектрального состава излучения лампы при охлаждении двухфазным потоком воды с мелкодисперсными пузырями показали, что из-за многочисленных светопреломлений на границе воздушных пузырей излучение лампы равномерно во всем диапазоне длин волн ослабляется на 27 %. Аналогичный результат получен и при использовании кипящего потока воды.

Спектральная плотность излучения лампы при различных концентрациях хромпика в потоке охлаждающей жидкости графически представлена на рис. 3 следующими кривыми: 1 — чистая вода; 2 — раствор хромпика с концентрацией  $n=2,5 \cdot 10^{-7}$  кг/м<sup>3</sup>, 3 —  $n=5 \cdot 10^{-7}$  кг/м<sup>3</sup>, 4 —  $n=7,5 \cdot 10^{-7}$  кг/м<sup>3</sup>, 5 —  $n=10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>, 6 —  $n=1,25 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>, 7 —  $n=1,50 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>. Анализ графика показывает, что концентрация хромпика существенно влияет на поглощение излучения в диапазоне длин волн менее 0,5 мкм, в диапазоне более длинных волн ослабление излучения лампы не было зафиксировано. С помощью селективно-поглощающих добавок можно уменьшить воздействие ультрафиолетового излучения на активный элемент и другие части квантрона, подобрав оптимальную концентрацию с помощью вышеописанной методики.

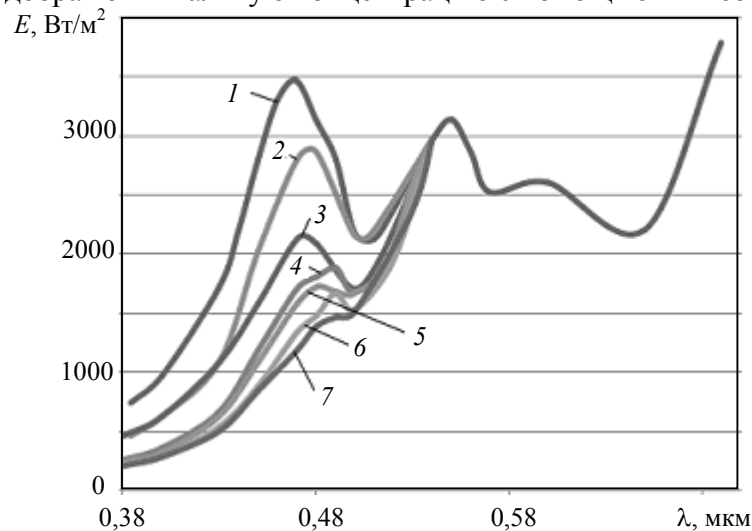


Рис. 3

Баланс тепловыделений в каналах был исследован при охлаждении лампы накачки потоком жидкости с различными концентрациями хромпика и водовоздушным потоком. Расчет выделившейся в канале охлаждения лампы тепловой мощности  $\Phi_1$  и тепловой мощности  $\Phi_2$ , поглощенной оболочкой, проводился по приведенной выше формуле.

При проектировании системы охлаждения квантрона с отдельными контурами для лампы и активного элемента использование селективного поглощения в коротковолновой части спектра позволяет существенно снизить тепловую нагрузку на активный элемент, в результате чего уменьшается его рабочая температура. Это имеет большое значение для лазерных сред, активированных эрбием и гольмием, так как повышается КПД лазера. Тепловая мощность, поглощенная оболочкой, снизилась практически вдвое, при этом спектральная плотность излучения в области накачки активных сред (см. рис. 3) практически не изменилась.

Использование водовоздушного охлаждения показало, что в канале охлаждения лампы выделяется тепловой поток, примерно на 30 % превышающий величину теплового потока при однофазном охлаждении, причем эта величина мало зависит от расхода жидкости. Использование двухфазного потока интенсифицирует теплообмен в каналах, однако необходимость применения компрессора и сепаратора воздуха на выходе из канала охлаждения усложняет конструкцию и делает установку более шумной.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- описанная экспериментальная установка и методика исследований режимов работы лампы накачки могут быть использованы при разработке систем охлаждения лазеров, в том числе и с применением новых активных сред;

- использование селективно-поглощающих добавок в теплоноситель позволяет перераспределить тепловые потоки в квантроне и улучшить тепловой режим активного элемента;

- интенсификация теплообмена на элементах квантрона с помощью водовоздушных потоков нецелесообразна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малинин А. Н., Шуабов А. К., Шимон Л. Л.* и др. Новые высокоэффективные электроразрядные лампы видимого и ультрафиолетового диапазонов спектра // Прикладная физика. 2006. № 1. С. 27—29.
2. Калориметрия. Теория и практика // *В. Хемингер, Г. Хене.* М.: Химия, 1990. 176 с.

*Сведения об авторах*

- Владимир Антонович Кораблев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: KVA@grv.ifmo.ru
- Юрий Тихонович Нагибин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники; E-mail: nagibin77@mail.ru
- Александр Васильевич Шарков** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: Sharkov@grv.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой  
компьютерной теплофизики  
и энергофизического мониторинга

Поступила в редакцию  
07.12.09 г.