

## ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАДМИЕВОГО ЛАЗЕРА С НАКАЧКОЙ ОСКОЛКАМИ ДЕЛЕНИЯ

### GENERATION CHARACTERISTICS OF CADMIUM LASER WITH FISSION FRAGMENTS EXCITATION

*И. А. Денежкин, П. П. Дьяченко, С. П. Степанов*  
*I. A. Denezhkin, P. P. D'yachenko, S. P. Stepanov*

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации –  
Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского»  
Joint Stock Company "State Scientific Centre of the Russian Federation – Institute for Physics and Power  
Engineering named after A. I. Leypunsky"

*Представлены результаты генерационных исследований гелий-кадмиевого лазерно-активного элемента на импульсном реакторе*

*БАРС-6. Приведены зависимости энергии лазерного излучения на переходе CdII с длиной волны 441,6 нм от давления, температуры рабочей смеси, а также параметров зеркал внутреннего резонатора.*

*The results of generational investigations of the helium-cadmium laser-active element at BARS-6 pulse reactor are presented. The dependences of the laser radiation energy at the CdII transition with wavelength 441,6 nm from the pressure, mixture temperature and parameters of the internal resonator mirrors are given.*

Поиск достаточно эффективной лазерно-активной среды является одной из наиболее важных задач в области прямого преобразования энергии деления ядер в энергию лазерного излучения. Сегодня известно более трех десятков различных газовых сред [1] на которых получена лазерная генерация при накачке продуктами ядерных реакций, в том числе осколками деления ядер урана. Однако, по существу, лишь одна из них (He-Ar-Xe смесь) обладает достаточно низким порогом и относительно высоким КПД (около 2 %), необходимыми для разработки мощных реакторно-лазерных систем. Именно эта среда была выбрана для демонстрационного образца оптического квантового усилителя с ядерной накачкой (ОКУЯН) стенда «Б» [2]. Однако для работы системы в режиме задающий генератор – двухпроходовой усилитель с обращением волнового фронта (ОВФ) He-Ar-Xe среда имеет ряд недостатков: малое время жизни верхнего лазерного уровня и заметное уменьшение КПД с увеличением мощности и энергии импульса накачки.

В свете этих соображений для применения в ОКУЯН представляется перспективной He-Cd парогазовая смесь с лазерным переходом  $5s^2\ ^2D_{5/2} - 5p^2\ ^2P_{3/2}$  иона кадмия Cd II на длине волны 441,6 нм. He-Cd среда обладает большим временем жизни верхнего рабочего уровня, а поскольку этот уровень достаточно далеко отстоит от основного состояния (~17 эВ), то, следовательно, нет оснований ожидать существенного уменьшения КПД с ростом накачки. Лазерная генерация на переходе с длиной волны 441,6 нм при ядерной накачке (осколками деления) He-Cd среды была получена в работе [3] на импульсном реакторе ЭБР-Л. Согласно данным этой работы порог генерации He-Cd-лазера оказался примерно в 10 раз больше, чем у ксенонового, а КПД составляет 0,4 %. Оптимальные значения давления и температуры среды составили при этом 1,8 атм и 660 К, соответственно.

В настоящей работе представлены результаты генерационных исследований гелий-кадмиевого лазерно-активного элемента (ЛАЭЛа) на импульсном реакторе БАРС-6. Конструкция экспериментального устройства представлена на рис. 1.

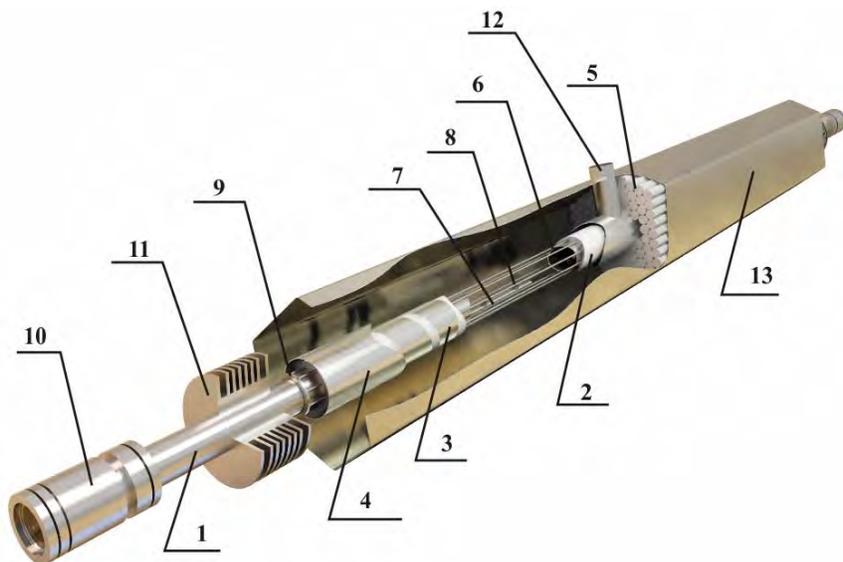


Рис. 1. Конструкция гелий-кадмиевого ЛАЭЛа: 1 – ЛАЭЛ с урановым покрытием, 2 – термоизолятор, 3 – тепловой экран, 4 – дистанционирующая труба, 5 – полиэтиленовый замедлитель нейтронов, 6 – ТЭНы, 7 – внутренняя газоотводная трубка, 8 – «ванночка» с кадмием, 9 – коллекторное кольцо ТЭНов, 10 – торцевой узел, 11 – алюминиевый радиатор, 12 – воздуховод, 13 – кадмиевый экран

В основе конструкции лежит стандартный ЛАЭЛ стенда «Б», представляющий собой трубу из нержавеющей стали диаметром  $\varnothing 49$  мм и длиной 2,8 м с нанесенным на ее внутреннюю поверхность уран-молибденовым покрытием с общей массой  $\sim 40$  г по  $^{235}\text{U}$ . В данном случае урановый слой дополнительно защищен слоем металлического алюминия толщиной  $\sim 0,5$  мг/см $^2$ . Нагрев осуществляется с помощью 8 ТЭНов длиной 2 м каждый, расположенных на внешней поверхности ЛАЭЛа вдоль его оси. Нагреваемая часть ЛАЭЛа помещена в термоизолятор из ТЗМК керамики и термобумаги. Выравнивание продольного распределения температур осуществляется посредством экрана с переменной по длине отражающей способностью. Замедлитель нейтронов набран из полиэтиленовых прутков  $\varnothing 20$  мм. Для предотвращения оплавления замедлителя используется дистанционирующая тонкостенная труба, позволяющая создать гарантированный воздушный зазор между замедлителем и термоизоляцией, а также осуществляется продув данного зазора. ЛАЭЛ оснащен торцевыми узлами с расположенными в них юстируемыми диэлектрическими зеркалами, а также вводами системы газонаполнения и очистки. В ходе экспериментов осуществлялась непрерывная очистка рабочего газа путем его прокачки через угольную ловушку, погруженную в жидкий азот. Применение специальной конструкции системы циркуляции газа внутри ЛАЭЛа, использование охлаждающих радиаторов на концевых частях ЛАЭЛа, а также подогрев окон ЛАЭЛа, являющихся одновременно зеркалами резонатора, позволили минимизировать конденсацию паров кадмия на зеркалах. При проведении генерационных экспериментов ЛАЭЛ в полиэтиленовом замедлителе устанавливался на среднем ярусе первого рабочего места стенда «Б» на расстоянии  $\sim 350$  мм между линией, соединяющей центры АЗ, и осью ЛАЭЛа. Измерение энергии лазерного излучения проводилась посредством калориметров типа КДМ (ОКБ ФИАН) с апертурой 70 мм, установленных в реакторном боксе на оси ЛАЭЛа. Для регистрации формы лазерного импульса незначительная часть излучения посредством системы зеркал выводилась в измерительный зал и направлялась на кремниевый поверхностно-барьерный детектор с апертурой входного зрачка 10 мм. Сигнал с детектора поступал на цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TDS 1012 и фиксировался в памяти персонального компьютера. Регистрация временной формы нейтронного импульса накачки осуществлялась с помощью вакуумной ионизационной камеры деления. Величина энерговклада осколков деления урана в активную среду, вычислялась по скачку давления в ЛАЭЛе согласно методике [4]. Для измерения скачка давления использовался датчик типа ДМИ, установленный в одном из торцевых узлов.

В условиях нейтронной накачки от реактора БАРС-6 на первом рабочем месте стенда «Б» в He-Cd смеси была получена лазерная генерация на переходе Cd II с длиной волны 441,6

нм. Было проведено исследование зависимости энергии лазерного излучения от параметров зеркал внутреннего резонатора, а также давления и температуры рабочей смеси. Соответствующие зависимости представлены на рис. 2–4. Анализ этих зависимостей показывает, что с точки зрения максимальной выходной энергии лазерного излучения оптимальными являются следующие параметры ЛАЭЛа: суммарное пропускание зеркал резонатора – около 6 %, диапазон начальных давлений гелия – (1–1,7) атм, диапазон температур среды – (370–400) °С.

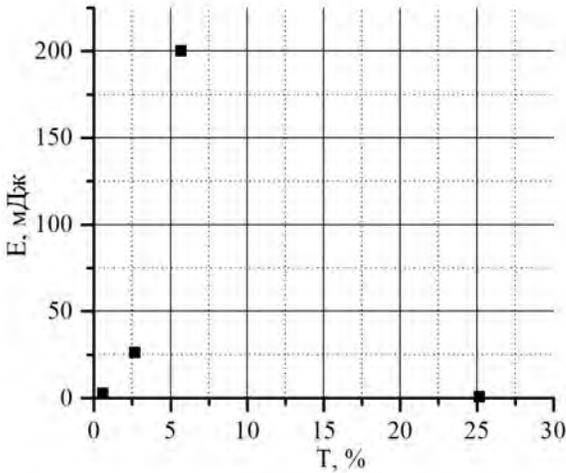


Рис. 2. Зависимость энергии лазерного излучения от суммарного пропускания зеркал резонатора ( $P_{\text{нач}} = 2,1$  атм,  $\bar{T} \approx 365$  °С)

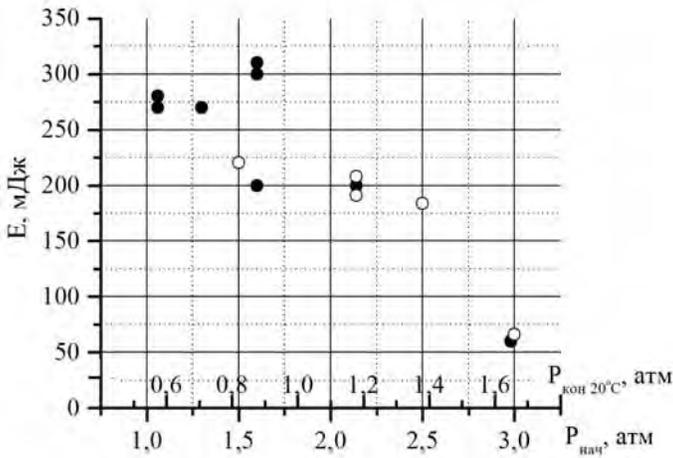


Рис. 3. Зависимость энергии лазерного излучения от давления He-Cd смеси:  $\circ, \bullet$  – экспериментальные серии с разными резонаторами,  $T_{\text{сред}} \approx 370$  °С,  $T_{\text{зерк}} = 5,7$  %,  $P_{\text{нач}}$  – начальное давление гелия в ЛАЭЛе при  $T = 20$  °С,  $P_{\text{кон } 20^\circ\text{C}}$  – давление гелия при  $T = 20$  °С, соответствующее концентрации гелия в нагретом ЛАЭЛе

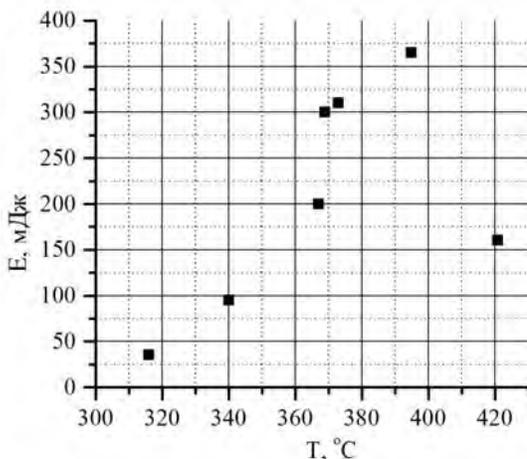


Рис. 4 Зависимость энергии лазерного излучения от температуры He-Cd смеси.

$P_{нач} = 1,6$  атм, суммарное пропускание зеркал резонатора – 5,7 %

На рис. 5 приведен лазерный импульс, соответствующий наибольшей полученной энергии генерации.

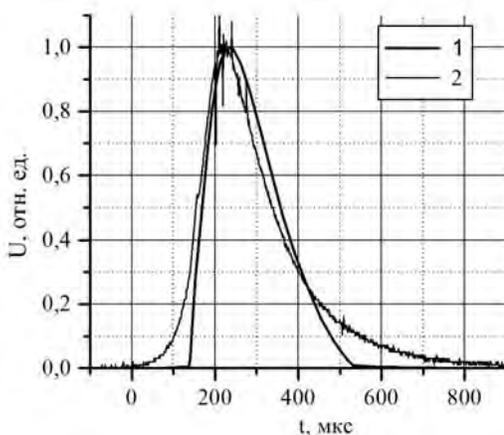


Рис. 5. Оциллограммы импульса генерации и нейтронного импульса накачки: 1 – лазерная генерация, 2 – накачка

Максимальная энергия лазерной генерации составила 370 мДж при начальном давлении гелия 1,6 атм, температуре He-Cd смеси 395 °C и суммарном пропускании зеркал резонатора 5,7 %. При этом значение полного энерговыклада в среду составило ~150 Дж, а КПД лазера соответственно ~0,2 %.

### Список литературы

1. Мельников С. П., Сизов А. Н., Синянский А. А. Лазеры с ядерной накачкой. Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2008.
2. Гулевич А. В., Дьяченко П. П., Зродников А. В., Кухарчук О. Ф. Связанные реакторные системы импульсного действия. М.: Энергоатомиздат, 2003.
3. Magda E. P., Grebenkin K. F., Kryzhanovsky V. A. // Proc. of the Intern. Conf. Laser's-90, Dec. 10–14, 1990, STS PRESS, McLean, VA 1991, p. 835.
4. Дьяченко Н. П., Дьяченко П. П., Зродников А. В. Измерение импульсного энерговыклада осколков деления в газовую среду по скачку давления: Препринт № 2256. Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 1992.