



LLS-YFLSM-1000 – одномодовый волоконный лазер мощностью 1 кВт с высоким качеством излучения

А. А. Колегов¹, Е. Г. Акулинин¹, Е. А. Белов¹, А. В. Загидулин¹, Д. В. Кулаков¹, А. В. Галеев¹, Н. В. Буров², В. Б. Ромашова², И. А. Цибизов², А. А. Акимов², Д. С. Свяжина²

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. ак. Е. И. Забабахина», vniitf.ru, г. Снежинск, Челябинская обл., Россия

² АО «ЛЛС», lenlasers.ru, Санкт-Петербург, Россия

Совместная разработка ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. ак. Е. И. Забабахина» и АО «ЛЛС» привела к созданию одномодового волоконного лазера мощностью 1 кВт с высоким качеством излучения (M^2 на уровне 1,1–1,2). Лазер обладает высоким потенциалом адаптации под существующие технологические линии машиностроительных предприятий, он может применяться как в обработке материалов разной природы (поверхностное структурирование, сварка, резка, гравировка, наплавка и т. д.), так и в научных проектах, а также позволяет использовать его в качестве базового лазерного блока при изготовлении мульткиловаттных лазерных систем. В кратком сообщении представлены ключевые характеристики и приведены результаты измерений качества пучка, спектра излучения и параметров лазера в импульсном режиме работы.

Ключевые слова: высокоомощный волоконный лазер, качество пучка, лазерная сварка, лазерная резка, лазерная наплавка, аддитивные технологии, АО «ЛЛС», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»

Статья поступила: 14.01.2020

Статья принята: 28.01.2020

Одномодовый волоконный лазер LLS-YFLSM-1000 (рис. 1) обладает возможностью перестройки мощности и возможностью выбора длины волны в диапазоне от 1070–1090 нм. Разработка оптической и электрической схемы лазера принадлежит специалистам «РФЯЦ-ВНИИТФ». Они определили требования к параметрам компонентов лазера, что позволило создать лазер с высокой мощностью и с высоким качеством пучка при высокой надежности его эксплуатации. Особенностью конструкции является теплоотводящая плита, предусмотренная для решения сопутствующей проблемы отвода тепла, сопровождающей работу высокоомощного волоконного лазера. Теплоотводящая плита обеспечивает многочасовую бесперебойную работу лазера.

Специалисты АО «ЛЛС», обладая широким кругозором и знаниями фотонных и оптических технологий, проанализировав рынок, определили круг поставщиков, качество продуктов которых не уступает мировым аналогам. В него вошли и производители пассивных волоконно-

оптических компонентов. При принятии решения в их пользу продукты были подвергнуты стандартизированным тестовым испытаниям, которые позволили добиться необходимых характеристик лазера в разработанном конструкционном исполнении.

LLS-YFLSM-1000 имеет QВН разъем, который проводит лазерный пучок с высокой оптической мощностью, обеспечивая при этом низкий уровень оптических потерь и деградации пучка. Программное управление лазером позволяет легко интегрировать инструмент в большинство промышленных установок. Лазер обладает меньшими массо-габаритными параметрами в сравнении с доступными коммерческими аналогами и более высоким качеством излучения. В конструкции используются современные высококачественные комплектующие с низкой вероятностью отказа. Все детали и узлы проходят ресурсные испытания как выходные (у производителя), так и входные (на сборочном участке).



Рис. 1. Одномодовый волоконный лазер LLS-YFLSM-1000

При тестировании LLS-YFLSM-1000 были определены основные характеристики лазера: оптическая эффективность, спектр выходного излучения лазера, качество пучка.

Контроль мощности лазерного излучения проводился в соответствии с ГОСТ Р ИСО 11554-2008. В испытаниях методом прямых измерений был использован измеритель мощности Ophir L1500W-BB-50. В результате испытаний значение квантовой эффективности составило 74% квантовой эффективности (рис. 2), что является достаточно высоким показателем в сравнении с коммерчески доступными системами. По результатам тестирования спектра выходного излучения ширина спектра составила $\Delta\lambda = 0,5$ нм по уровню FWHM (рис. 3).

Для определения качества пучка измерение коэффициента распространения производилось согласно ГОСТ Р ИСО 11146-1-2008. Измерение

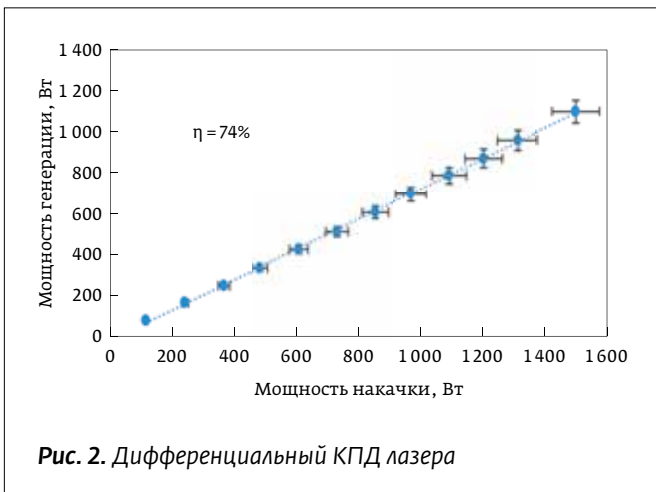


Рис. 2. Дифференциальный КПД лазера

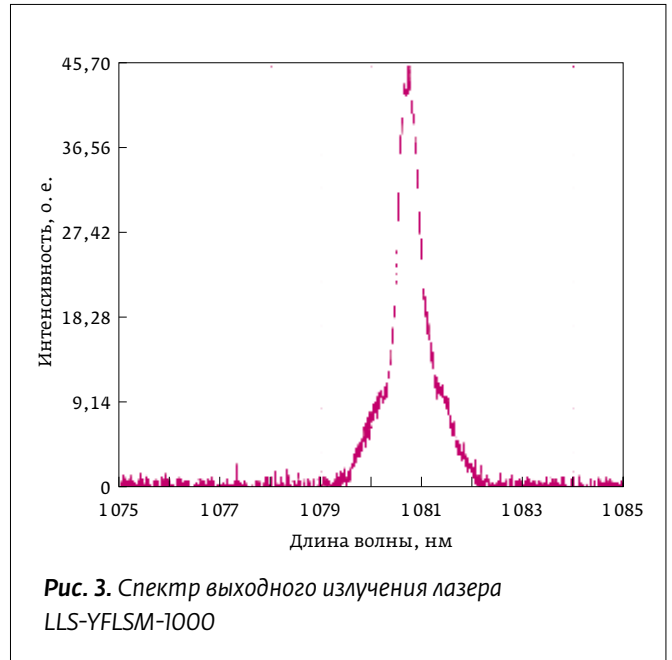


Рис. 3. Спектр выходного излучения лазера LLS-YFLSM-1000

диаметра лазерного пучка проводилось методом ножа Фуко в соответствии ГОСТ Р ИСО 11146-3-2008. Профиль пучка определялся при помощи профилометра Ophir BeamWatch. Результаты измерений представлены на рис. 4. Основной параметр, на который делался акцент, – это качество пучка M^2 ; в тестовых испытаниях оно составило 1,1-1,15. Параметр M^2 на сегодняшний день является наиболее используемым при проведении тестирования выходных параметров лазера и определяется как деление параметра ВВР (beam parameter product) на дифракционный предел $4\lambda/\pi^*$. Это позволяет не только охарактеризовать качество выходного пучка, но и описать изменение радиуса пучка вдоль луча [1].

Чтобы исследовать потенциал возможностей лазера для использования в аддитивных технологиях, где требуется равномерный и быстрый прогрев материала, были определены параметры лазера при работе в импульсном режиме. Лазер работает в непрерывном режиме генерации, но в его управлении предусмотрена модуляция режима. Испытания проводились по ГОСТ Р ИСО 11554-2008. Схема измерений содержала фотоприемник ФД-256 и осцилло-

* Примечание авторов: параметры, определяющие качество пучка: $M^2 = \frac{BPP}{BPP_0}$; $BPP = R\alpha$, где R – радиус перетяжки пучка, α – половина угла расходимости пучка; $BPP_0 = \frac{\lambda}{\pi}$, где λ – длина волны генерируемого излучения.

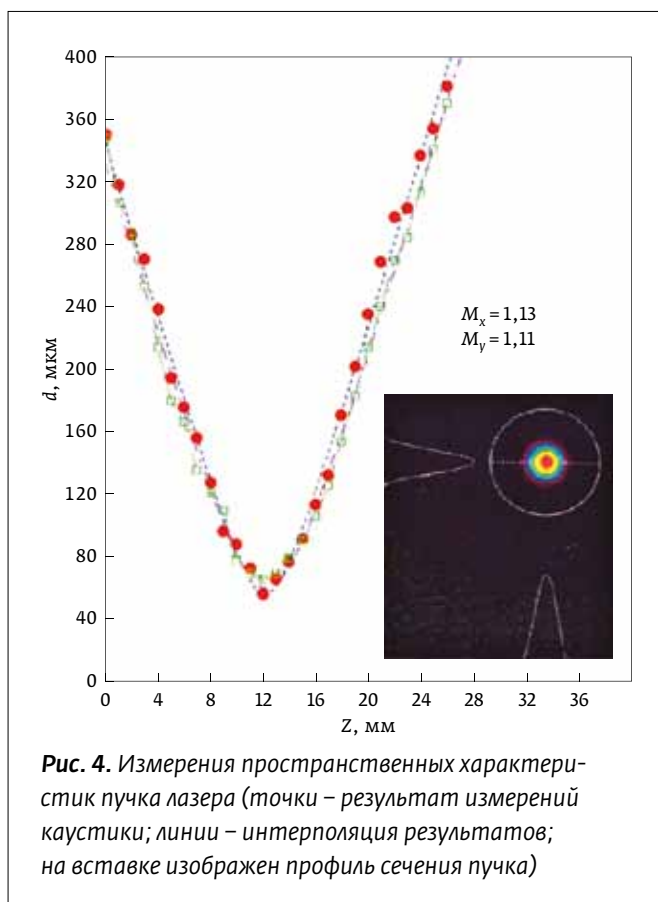


Рис. 4. Измерения пространственных характеристик пучка лазера (точки – результат измерений каустики; линии – интерполяция результатов; на вставке изображен профиль сечения пучка)

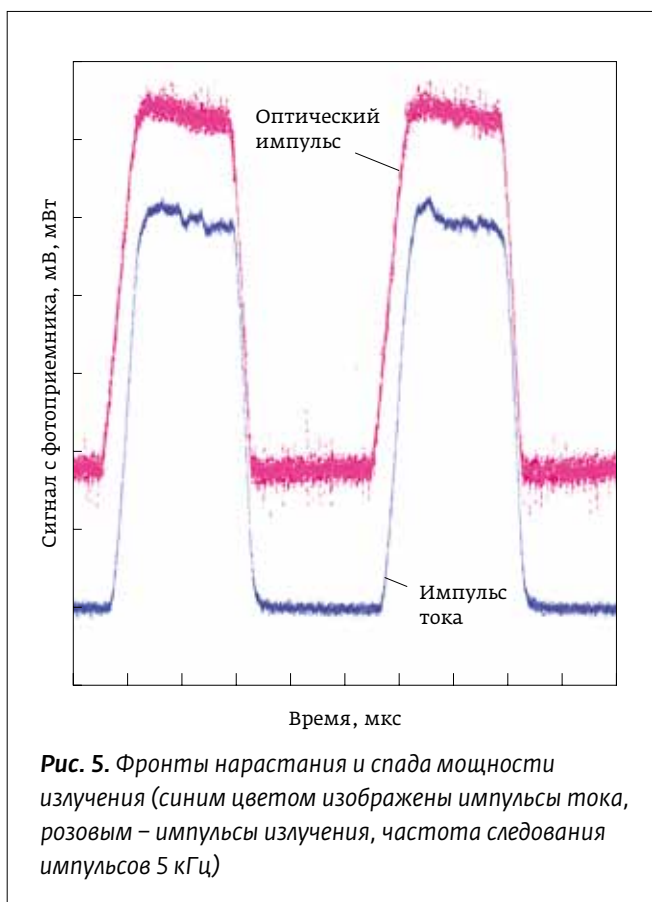


Рис. 5. Фронты нарастания и спада мощности излучения (синим цветом изображены импульсы тока, розовым – импульсы излучения, частота следования импульсов 5 кГц)

Технические характеристики лазера LLS-YFLSM-1000

Параметры	Значение
Длина волны генерируемого лазерного излучения	1075 ± 10 нм
Оптическая мощность генерируемого лазерного излучения, не менее	1 000 Вт
Диапазон регулировки мощности	10–100%, с шагом 1%
Мода излучения	Одномодовый, TEM ₀₀
Качество пучка, M ²	1,1–1,2
Фронт нарастания / спада оптической мощности, мкс не более (от 0 до 100%, от 100 до 0%)	50
Тип оптического разъема	QВН с водяным охлаждением
Режимы генерации	Непрерывный, с возможностью модуляции
Максимальная частота модуляции	Не менее 5 кГц
Питание	220 В, 50 Гц
Максимальная потребляемая электрическая мощность, не более	3 500 Вт
Масса, не более	40 кг
Габариты конструкции лазера: ширина × глубина × высота (мм), не более	483 × 770 × 140 (3U19" Rack)
Длина волны пилотного лазера	630–660 нм
Мощность излучения пилотного лазера, не менее	1 мВт



граф TekTronix TDS3000 с полосой пропускания 500 МГц. Результаты измерений представлены на рис. 5. В случае импульсного режима работы наблюдаются крутые фронты импульса, что свидетельствует о перспективности использования лазера в SLM- и SLS-установках.

Главными преимуществами созданного лазерного источника являются высокое качество излучения, проверенные производители комплектующих изделий, а также промышленный дизайн, совместимый с используемыми стандартными установками. Но главное – это полностью российская разработка и сборка. Уже завершена поставка лазера LLS-YFLSM-1000 во ВНИИОФИ в качестве мощного источника излучения. Кроме научных проектов лазер может быть использован в качестве базового лазерного блока при изготовлении мультикиловаттных лазерных систем [2]. В настоящий момент в «РФЯЦ-ВНИИТФ» идет подготовка к серийному производству волоконных лазеров. В перспективе стоит разработка мультикиловаттных лазерных систем, которые используются в промышленных станках по раскрою металлических материалов.

Известные аналитики рынка лазеров предсказывают [3], что высокоомощные волоконные

лазеры будут востребованы в различных отраслях промышленности, так как обладают высоким потенциалом адаптации под существующие технологические линии машиностроительных предприятий. В дальнейшем АО «ЛЛС» планирует наращивать экспорт и развивать новые направления в разработке источников лазерного излучения. Для быстрого восстановления работоспособности устройств в случае обнаружения неисправностей и с целью увеличения качества обслуживания клиентов АО «ЛЛС» открывает собственный сервисный центр для гарантийного и постгарантийного обслуживания поставляемых лазеров.

REFERENCES

1. Потёмкин А. К., Хазанов Е. А. Вычисление параметра M^2 лазерных пучков методом моментов. *Квантовая электроника*. 2005; 35(11): 1042–1044. Potemkin A. K., Khazanov E. A. Calculation of the laser-beam M^2 factor by the method of moments. *Quantum Electronics*. 2005; 35(11): 1042–1044.
2. Хазанов Е. А., Миронов С. Ю., Муру Ж. Нелинейное сжатие сверхмощных лазерных импульсов: компрессия после компрессора. *Успехи физических наук*. 2019; 189 (11): 1173–1200. Khazanov E. A., Mironov S. Yu., Muru J. Nonlinear compression of high-power laser pulses: compression after compressor approach. *UFN*. 2019; 189 (11): 1173–1200.
3. Overton G., Noguee A., Belforte D., Wallace J., Gefvert B. What goes up... ANNUAL LASER MARKET REVIEW & FORECAST 2019. *Laser Focus World*. January 2019; 40–65.



<http://www.laseroptics.ru>
conference2020@laseroptics.ru

19th International Conference Laser Optics ICLO 2020

8-12 June 2020, St. Petersburg, Russia

Solid State Lasers
Semiconductor Lasers, Materials and Applications
Lasers and Systems for Imaging, Green Photonics and Sustainability
High-Power Lasers
Free Electron Lasers
Super-Intense Light Fields
Optical Nanomaterials
Quantum Optics
Nonlinear Photonics
Laser Beam Control
Lasers in Medicine and Biophotonics

Exhibition

Paper Submission Deadline March 26, 2020

English will be the official language of the Conference