

УДК 681.785

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ
СЛОЖЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ В КОЛЬЦЕВОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ
ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ**

Зарипов М.Р.¹, Алексеев В.А.², Офицерова А.В.², Антонов Е.А.¹, Куприянов А.А.²

¹Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

²Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

Ижевск, Российская Федерация

Аннотация. Рассматривается проблема повышения степени автономности лазерных систем путем увеличения эффективности их работы. Предлагается ее решение за счет применения систем синхронного сложения пучков на кольцевой линии задержки. Описываются структура доработанной экспериментальной установки на многомодовых волоконных компонентах и приводятся результаты измерений в виде осциллограмм.

Ключевые слова: сложение пучков, оптическая линия задержки, экспериментальная установка, автономная лазерная система.

**EXPERIMENTAL SETUP FOR RESEARCH OF LASER BEAM COMBINING POSSIBILITY IN
RING FIBER DELAY LINE**

Zaripov M.¹, Alekseev V.², Oficerova A.¹, Antonov E.¹, Kuprijanov A.²

¹Udmurt Federal

Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

²Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Izhevsk, Russian Federation

Abstract. The problem of increasing the degree of autonomy of laser systems by increasing their effectiveness is considered. Its solution is proposed by the use of systems for synchronous beam combining on a ring delay line. The structure of the modified experimental setup based on multimode fiber components is described, and the measurement results in the form of oscillograms are presented.

Key words: beam combining, optical delay line, experimental setup, autonomous laser system.

Адрес для переписки: Зарипов М.Р., 426067, ул. им. Т. Барамзиной, 34, Ижевск, Российская Федерация
e-mail: zaripov.istu@gmail.com

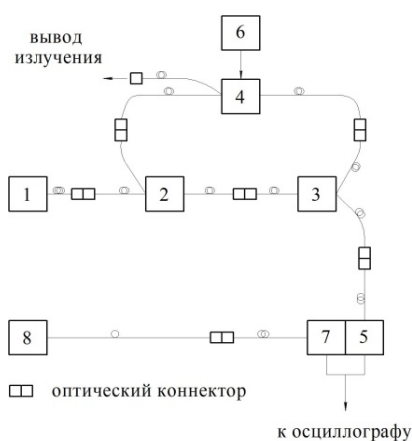
К настоящему моменту актуальным остается создание портативных, мобильных лазерных систем с автономным энергопитанием. Вместе с тем возникает задача повышения степени автономности таких лазерных систем. Данная задача, связанная с увеличением времени их работы, в течение которого им не потребуются подачи дополнительной энергии, может быть решена двумя основными путями: созданием энергоемких источников питания, или повышением эффективности работы лазерных систем. Причем решение во втором направлении предполагает увеличение выходной мощности или выходной энергии импульса лазерного излучения с сохранением прежней степени автономности всей системы в целом без возрастания потребляемой энергии. Если к настоящему времени проблема повышения энергетических характеристик лазерного источника уже давно стала решенной [1–3], то сохранение при этом прежней степени автономности лазерной системы или, тем более, ее увеличение за счет применения оптических усилителей, существующих методов компрессии лазерных импульсов или разработанных схем когерентного и некогерентного сложения пучков от нескольких лазерных источников по прежнему остаются сомнительными.

Повышение выходных энергии или мощности лазерного источника без увеличения потребляемой им энергии питания возможны за счет применения систем синхронного сложения лазерных пучков, построенных на основе одиночной кольцевой или нескольких прямых линий оптической задержки [4]. Они позволяют перераспределять энергию лазерного излучения в последовательности импульсов и, сохраняя на прежнем уровне среднюю мощность подключаемого к ним лазерного источника, увеличивать энергию и пиковую мощность одного импульса лазерного излучения в этой последовательности в несколько раз – пропорционально количеству прямых линий задержки или числу циркулирующих излучения в кольцевой линии задержки.

На практике наиболее простой при изготовлении стала система синхронного сложения лазерных пучков с одиночной кольцевой волоконной линией задержки, реализованной на основе соединенных оптически волоконно-оптического коммутатора ВОК 1×2 и волоконно-оптического сумматора ВОС 2×1. Она не требует использования множества линий задержки, длины которых должны точно подгоняться для обеспечения синхронного сложения лазерных пучков.

Для изготовления установки использовались недорогие коммерчески доступные электромеханические ВОК 1×2 , которые не обладали высоким быстродействием (минимальное время переключения применяемого в установке ВОК 1×2 – не более 3 мс). Поэтому реализованная система не может быть использована напрямую для измерения энергетической эффективности, но ее можно применить для оценки возможности сложения пучков в кольцевой линии задержки.

В настоящем сообщении авторами статьи предлагается доработанная версия (рис. 1) рассмотренной ранее установки [5], которая состоит из основного лазерного источника 1, многомодового ВОС 2×1 , многомодового волоконного сплиттера 1×2 с делением пучка 95:5, ВОК 1×2 4, основного фотоприемного устройства (ФПУ-1) 5, блока управления 6, опорного фотоприемного устройства (ФПУ-2) 7, опорного лазера 8.



1 – основной лазерный источник; 2 – ВОС 2×1 ; 3 – волоконный сплиттер 95:5; 4 – ВОК 1×2 ; 5 – ФПУ-1; 6 – блок управления; 7 – ФПУ-2; 8 – опорный лазер

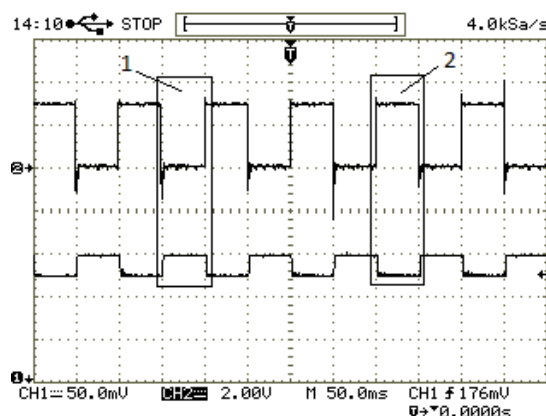
Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

ФПУ-1 и ФПУ-2 связаны электрически и сигнал U_m , регистрируемый от них с помощью осциллографа, представляет собой разность сигнала U_r , формируемого ФПУ-2 (опорный сигнал), и сигнала U_o , формируемого ФПУ-1 (основной сигнал). Причем регистрируемый осциллографом сигнал будет инвертирован по амплитуде.

Установка для проведения измерений помещалась в оптическую камеру, представлявшую собой помещение с гладкими черными стенками, в которое исключалось попадание внешнего фонового излучения.

Были получены первые результаты измерений в виде осциллограмм временных зависимостей мощностей излучения пучка, циркулирующего в волоконном «кольце» (сигнал циркуляции), и пучка, проходящего через участок «кольца» без циркуляции (сигнал вывода).

Проанализируем одну из зарегистрированных осциллограмм (рис. 2).



1 – временной участок сигнала вывода; 2 – временной участок сигнала циркуляции

Нижняя осциллограмма – сигнал U_m (первый канал); верхняя осциллограмма – сигнал переключения V_+ (второй канал)

Рисунок 2 – Снимок экрана осциллографа

Нижний уровень сигнала переключения V_+ соответствует оптическому сигналу вывода величины U_{m1} , а верхний уровень – сигналу циркуляции величиной U_{m2} . Учитывая, что $U_{m1} > U_{m2}$, а оптические сигналы, зарегистрированные осциллографом, инвертированы, можно сказать, что мощность P_1 оптического сигнала, формируемого без сложения пучков основного лазера, меньше мощности P_2 оптического сигнала, формируемого путем сложения пучков в волоконном «кольце». При этом расчетное отношение P_2/P_1 достигает до 1,1. Это демонстрирует возможность сложения лазерных пучков в системах с кольцевой волоконной линией задержки.

Литература

- Хазанов, Е. А. Нелинейное сжатие сверхмощных лазерных импульсов: компрессия после компрессора / Е. А. Хазанов, С. Ю. Миронов, Ж. Муру // Успехи физических наук. – 2019. – Т. 189. – С. 1173–1200.
- Islam, M. N. Raman amplifiers for telecommunications / M. N. Islam // IEEE Journal of selected topics in quantum electronics – 2002. – Vol. 8, № 3. – P. 548–559.
- Brignon, A. Coherent laser beam combining. Weinheim: Wiley-VCH, 2013. – 509 p.
- Энергоэффективный источник импульсного лазерного излучения на кольцевой линии задержки / В. А. Алексеев [и др.] // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 7. – С. 12–17.
- Экспериментальная установка для сложения лазерных пучков в кольцевой волоконно-оптической линии задержки / М. Р. Зарипов [и др.] // Приборостроение-2021: материалы 14-й Международной научно-технической конференции, 17-19 ноября 2021 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 415–416.