

**РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОГО  
МОДУЛЯ С ВОЛОКОННЫМ ВЫХОДОМ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Гафуров Э.М. (РФЯЦ-ВНИИТФ), Кадигроб Е.В. (РФЯЦ-ВНИИТФ)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Фомин А.В.  
(РФЯЦ-ВНИИТФ)

**Введение.** Разработка лазерных модулей (ЛМ) с волоконным выходом на базе лазерных диодов (ЛД) представляет собой важную и перспективную задачу. Данные модули используются в качестве высокоэффективных источников накачки оптоволоконных лазеров (ОВЛДН) [1, 2], а также имеют широкий спектр применений как самостоятельные устройства в различных отраслях промышленности. Основной задачей при разработке ЛМ является выбор оптических схем, позволяющих объединить излучение нескольких лазерных источников и обеспечить высокую эффективность ввода в оптоволокно.

Возрастающие требования на постоянный рост мощности волоконных лазеров диктуют необходимость разработки схем модулей накачки с большей мощностью излучения. Одним из эффективных способов увеличить мощность модулей является пространственное объединение лазерного излучения от большого количества ЛД. Разработанные и серийно производимые в РФЯЦ-ВНИИТФ ЛМ на базе одиночных ЛД [3], конструктивно представляют собой серию из семи последовательно соединенных одиночных ЛД с пространственным объединением излучения и последующим вводом в оптоволокно. Используя тот же принцип построения оптической системы в работе необходимо было рассчитать и смоделировать схему объединения излучения от девятнадцати ЛД.

**Основная часть.** Для расчетов использовались общепринятый математический аппарат [4] преобразования лазерного пучка тонкой линзой, как для коллимации, так и для фокусировки пучка. Данный метод позволяет рассчитать параметры пучка только в параксиальном приближении, и справедлив для оптических систем с тонкими линзами. В нашем случае для коллимации излучения ЛД используются толстые линзы, поэтому для учета сферических и хроматических аберраций необходимо использовать программу Zemax [5]. Подставляя рассчитанные ранее параметры оптической схемы в Zemax, используем встроенную оптимизацию с помощью функций NPZG, NPZL и NSDD для нахождения оптимального расстояния между источником и линзой. Затем находятся оптимальные параметры оптической системы (радиус кривизны линзы) для фокусировки излучения от девятнадцати ЛД в торец оптоволокну. Были учтены апертура оптоволокну, а так же допустимые значения радиуса перетяжки.

Пользуясь рассчитанными оптическими параметрами, была смоделирована оптическая лазерная система. Она состоит из: 19 ЛД (915 нм), линз для коллимации быстрой ФАС и медленной SAC осей, поворотных зеркал на 45°, линз для фокусировки пучка от всех эмиттеров в оптоволокно ( $N_A = 0,22$ ,  $D = 200$  мкм). Оптимальное значение  $L$  для коллимации быстрой оси составило 0,051 мм и для коллимации медленной оси 11,89 мм. В свою очередь для фокусировки медленной оси оптимальное  $R_1 = 4,75$  мм, а для фокусировки быстрой оси оптимальное  $R_1 = 13$  мм. Рассчитанный коэффициент ввода излучения в волокно составил 99%. Данный коэффициент равен отношению мощности на выходе из оптоволокну (на детекторе) к общей мощности излученной всеми ЛД [6].

**Выводы.** В данной работе проведен расчет и моделирование оптической системы ЛМ с волоконным выходом ( $N_A = 0,22$ ,  $D = 200$  мкм) на базе девятнадцати ЛД с длиной волны  $\lambda=915$  нм. За основу построения оптической системы была взята разработанная ранее в РФЯЦ-ВНИИТФ, оптическая лазерная система на базе семи ЛД. Для математической модели поведения лазерного пучка разработан алгоритм оценки искоемых параметров в программе MathCAD. Для моделирования оптической системы использовалась программа Zemax, в

которой проводилась оптимизация параметров, для коллимации выходного пучка из ЛД по быстрой и медленной осям, а также фокусировка излучения от девятнадцати ЛД в оптоволокно. Рассчитанный коэффициент ввода излучения в оптоволокно, без учета френелевских потерь, составил 99%.

#### **Список использованных источников:**

1. C. Wessling, et al. 50 W passively cooled, fiber coupled diode laser at 976 nm for pumping fiber lasers using 100  $\mu\text{m}$  fiber bundles. Proc. of SPIE Vol. 6876, 2008.
2. M. Kelemen et al. Diode Lasers optimized in Brightness for Fiber Laser Pumping., Proc. of SPIE Vol. 10514, 2018.
3. Кадигроб Е. В., Усманов С. Р., Фомин А. В., Игнатьев А.Н. Лазерный модуль с волоконным выводом излучения яркостью более 10 МВт/см<sup>2</sup>, Журнал технической физики, том 92, вып. 4. 2022.
4. Пахомов И.И., Цибуля А.Б. Расчет оптических систем лазерных приборов. – М.: Радио и связь, 1986. – 152с.
5. P. Zhao, et al. Design of 150W, 105- $\mu\text{m}$ , 0.22NA, fiber coupled laser diode module by ZEMAX. Proc. of SPIE Vol. 10152, 2016.
6. Mark S. Zediker, et al. High-Power Diode Laser Technology and Applications XIII, edited by, Proc. of SPIE Vol. 9348, 2015.