

ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С СОЛНЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ ДЛЯ РАБОТЫ ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ

Кузяков Борис Алексеевич

канд. физ.- мат. наук, доцент, Российский технологический Университет МИРЭА, РФ, г. Москва

PARAMETERS OF SOLAR-PUMPED FIBER LASERS FOR OPERATION NEAR THE EARTH

Boris Kuzyakov

Cand. Physical - Mat. Sciences, Associate Professor, Russian Technological University MIREA, Russia, Moscow

Аннотация. Рассматриваются две схемы волоконных лазеров с солнечной накачкой. В первой для накачки применяются лазерные диоды и солнечные батареи. Во второй используется прямая солнечная накачка волоконного световода.

Abstract. Two schemes of solar-pumped fiber lasers are considered. In the first, laser diodes and solar panels are used for pumping. The second uses direct solar pumping of a fiber light guide.

Ключевые слова: волоконный лазер; солнечная накачка; лазерный диод; солнечные батареи.

Keywords: fiber laser; solar-pumped; laser diod; solar panels.

Введение. В наше время практически все развитые страны разрабатывают и используют на Земле конверторы солнечного излучения в электрическую энергию. Общая орбитальная мировая группировка спутников в ближнем космосе превышает 1000 аппаратов. Для энергоснабжения этой космической армады применяются солнечные батареи. Лазерная техника вышла на передовые рубежи в системах телекоммуникаций, зондирования атмосферы, изучения Земли из космоса и т.п.. не говоря ещё о военных применениях. Значительные успехи достигнуты в реализации волоконных лазеров. В этой связи, естественно рассмотрение базовых особенностей волоконных лазеров с солнечной накачкой [1 - 4] при использовании вблизи Земли.

В работе рассматриваются особенности 2-х схем волоконных лазеров с солнечной накачкой (ВЛ-СН) при использовании вблизи Земли. В первом варианте используется волновод с одной сердцевинной и для энергоснабжения лазерных диодов накачки применяются солнечные батареи. Схема включает фильтр солнечного излучения для выделения длин волн накачки в диапазоне 0,9 мкм, снабженный специальной системой охлаждения. Разработанная схема волоконного лазера с солнечной накачкой по варианту №1, приведена на рисунке 1. В этом варианте лазера используется волоконный световод с одной сердцевинной и для

энергоснабжения лазерных диодов накачки на длине волны 0,9 мкм (позиция 5*), применяются солнечные батареи (СБ), позиция (5). Среди большого ассортимента СБ, имеющегося на отечественном рынке, выбраны и используются высокоэффективные батареи с минимальными массогабаритными параметрами.

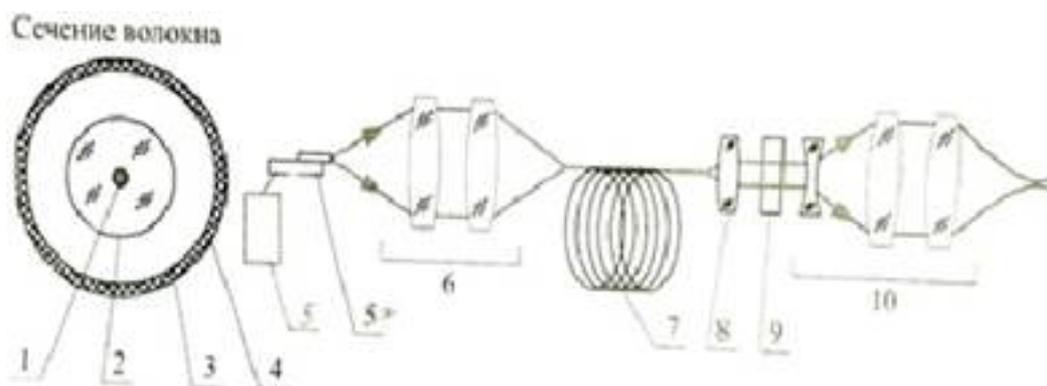


Рисунок 1. Схема волоконного лазера с солнечной накачкой,

вариант № 1: 1 - легированная сердцевина, 2 - кварцевое волокно, 3 - полимерная оболочка, 4 - защитное покрытие, 5 - солнечные батареи, 5 - лазерные диоды накачки, 6 - оптическая схема накачки, 7 - оптическое волокно, 8 - оптический элемент коллиматора, 9 - модулятор, 10 - оптическая фокусирующая система*

Эти вопросы изучали и продолжают исследовать как профессионалы, так и начинающие, молодые специалисты. Например, в работе [1], рассматривается конструкция волоконного лазера с солнечной накачкой (ВЛ-СН) с использованием всех необходимых элементов, включая фильтр солнечного излучения для выделения длин волн накачки в диапазоне 0,9 мкм. Однако он выполнен в виде компактного элемента и расположен в схеме накачки, в области, где циркулирует уже сфокусированное излучение. Так как, её плотность мощности весьма высока, введена специальная система охлаждения с жидкостными хладагентами. Это, в свою очередь усложняет всю конструкцию и приводит к росту массогабаритных параметров. СБ широко используются на отечественных космических аппаратах (КА). Как известно, наиболее совершенные СБ [4] используются на МКС, общая площадь которых превышает 2500 м², при этом, они хорошо исследованы и отработаны.

Эксперимент. В настоящее время в волоконных лазерах применяются различные системы лазерной диодной накачки: А) одноэмиттерный (1 - 15 Вт) лазерный диод (ЛД) с волоконным выводом; В) многоэмиттерная (10 - 150 Вт) диодная лазерная сборка с волоконным выводом. В нашем случае применялась система А). В качестве экспериментального образца использовался нестандартизованный лазерный диод с волоконным выходом [5], типа ДЛМ - 15, произведенный НТО «ИРЭ - Полюс». Вследствие того, что мощность этого приобретенного нами, ЛД, в ряде наших измерений превышала величину 5 Вт, на поверхность его корпуса устанавливали радиатор с достаточно развитой поверхностью. При монтаже радиатора, для создания равномерного контакта по всей площади соприкосновения, использовалась теплопроводящая паста. Для снятия избыточной тепловой мощности применяли принудительное воздушное охлаждение, создаваемое специальным вентилятором. Исследуемый ЛД обладал волоконным выходом, поэтому перед монтажом измерительного стенда, выходной волоконный световод протирался, тщательно промывался жидкостью, содержащей спирт, и его торец скалывали. При этом использовали прецизионный скалыватель Fujikura CT50 (СТ-50). Для установки и соединения волокна с приемником излучения применялись специальные держатели. Измерения мощности излучения ЛД проводили двумя способами: 1 - с использованием регулируемого источника тока MOS QJ300E (0-30 V, 0 -20 A); 2 - с применением драйвера питания типа «Maiman Electronics», при этом, контакты лазерного диода припаивались к проводникам, подключаемым непосредственно к

драйверу. Собственно, значения мощности ЛД регистрировали на измерителе оптической мощности Power PXIe - 1500 фирмы Quantifi Photonics, работающим в диапазоне длин волн 75 - 1700 нм. Кроме этого, при высоких значениях мощности дополнительно использовали датчик мощности на термоэлементах РМ 6К, охватывающим диапазон длин волн 0,19 - 11 мкм. Были проведены экспериментальные работы по определению зависимостей выходной мощности лазерного диода с волоконным выводом от тока накачки. Проведенные измерения двумя вышеупомянутыми способами показали практически одинаковые данные. Они подтверждают, что во всем диапазоне изменения тока накачки лазерного диода, его мощность изменяется почти по линейному закону, что соответствует и паспортизованным ЛД типа ДЛМ-15. Так, при изменении тока накачки от 1 мА до 15 мА, выходная мощность возрастает с 0,5 Вт до 12 Вт. Для оценки уровня энергоснабжения лазерного модуля, по схеме №1, в наземных условиях, использовали современную солнечную батарею (СБ) SilaSolar 30 Вт 5ВВ (5 bus bar). Она имеет в своих ячейках 5 токопроводящих шин (Модель: SIP30-5ВВ, фирма «Техно-лайн»). Габариты: 655 x 350 x 25 мм, температурный диапазон: от - 45⁰ С до + 85⁰ С; эффективность модуля (КПД) - 13,6%. Среднегодовая выработка электроэнергии: 0.14 кВт ч/сутки; суммарная выработка электроэнергии за год: 51.74 кВт ч. График изменения выработки электроэнергии по месяцам, при угле наклона батареи к горизонту - 45⁰, приведен на рисунке 2. Для условий на КА, нужно учитывать изменение эффективности СБ на разных витках полета вокруг Земли. Анализ данных показывает, что колебания эффективности СБ на разных траекториях КА (витках), периодически проходящих над материками и океанами, весьма существенны и превышают 12% в максимумах. При этом, прямое питание диодов накачки ВЛ (схема № 1) от СБ - затруднено. Для устойчивого энергоснабжения ВЛ, по этой схеме, необходим промежуточный выравнивающий накопитель, соответствующей мощности. Нужно заметить, что аккумуляторы применяются практически во всех системах энергоснабжения КА. Однако, это приводит к росту массо-габаритных параметров всего устройства.

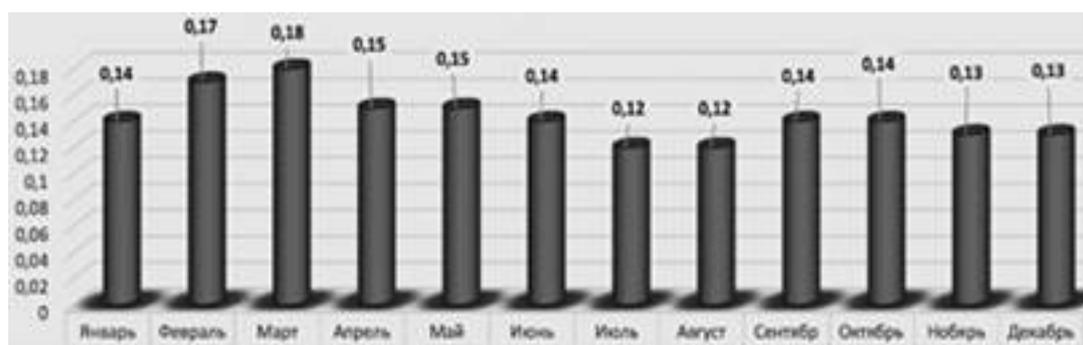


Рисунок 2. График изменения выработки электро- энергии батареи SIP30-5ВВ в течение года (цифры над столбиками и на оси, слева - кВт ч/сутки)

Кроме того, в условиях космического пространства происходит интенсивное термоциклирование всей аппаратуры в широком диапазоне температур [6]. Перечисленные факторы обуславливают сложность и жёсткость требований на применение СБ для питания ВЛ по схеме №1. В схеме волоконного лазера с прямой солнечной накачкой, вариант № 2, СБ не применяются, что позволяет существенно облегчить требования к установке. В этом варианте (рисунок 3) применяется параболический концентратор солнечного излучения для прямой накачки волоконного лазера.

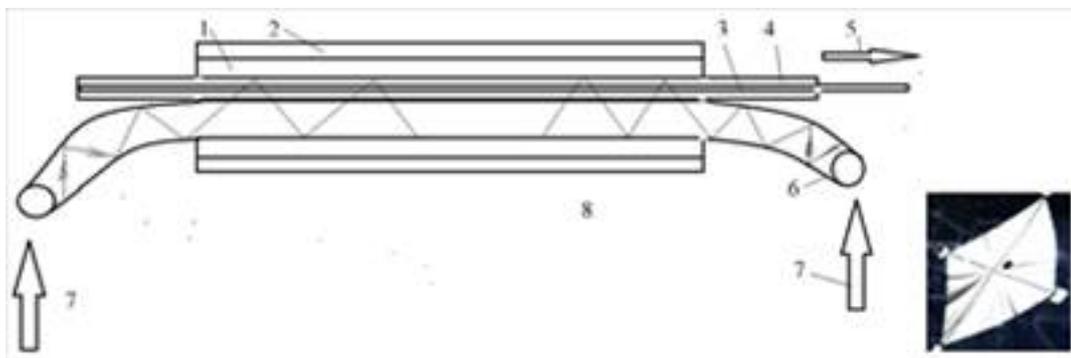


Рисунок 3. Схема волоконного лазера с прямой солнечной накачкой:

1 - отражающая накачку полимерная оболочка; 2 - защитная оболочка; 3 - активное волокно; 4 - полимерная оболочка активного волокна; 5 - оптический выход; 6 - многомодовое волокно накачки; 7 - накачка; 8 - внешняя полимерная оболочка. Справа, показан солнечный концентратор, в развернутом состоянии на основе пленки майлара.

На этом рисунке, стрелки обозначают - накачку через торцы, лазерные световоды показаны в укрупненном масштабе. В конструкции гелиоконцентратора используется концепция солнечного паруса. Параболический профиль создается натяжением тросиков. Его основные параметры связаны следующими соотношениями:

$$H = D^2 / 16 F \quad (1)$$

где, H - глубина или расстояние от вершины зеркала до плоскости раскрыва; F - фокусное расстояние; D - диаметр зеркала;

$$\text{tg}(\varphi_0/2) = (D/2F) / (1 - D^2/16F^2) \quad (2)$$

где, φ_0 - угловая апертура или угол раскрыва, т.е. угол под которым виден раскрыв зеркала.

Материал основы пленочного концентратора - майлар. В лазерном резонаторе ВЛ СН применяются Брэгговские решетки (БР).

Заключение. В работе рассмотрены две перспективные инновационные схемы волоконного лазера, работающего в диапазоне 1,5 мкм, с солнечной накачкой. В первом варианте ВЛ-СН, с диодной накачкой, представлен эксперимент по измерению мощности накачки в диапазоне 0,9 мкм. Во втором варианте для накачки ВЛ-СН применяется пленочный концентратор типа «солнечный парус», прошедший апробацию на отечественных космических аппаратах [4, 6]. В качестве основы солнечного концентратора используются суперсовременные материалы: каптон или майлар. Наряду с этими аргументами, высокоэффективные ВЛ-СН по варианту № 2 могут быть использованы в качестве базовых, при реализации Космических Солнечных Электростанций (СКЭС). В таких СКЭС, полученная энергия от солнца, в соответствии с разработанной концепцией, преобладающей в научных проектах РФ, передается из космоса на наземные приёмные станции с помощью лазерного излучения.

Список литературы:

1. К.И. Макаренко. Всесоюзная нтк студентов. Студенческая научная весна 2017: Машиностроительные технологии. - с. 12 - 18; <http://studvesna.ru>.
2. Б.А. Кузяков. Журнал "UNIVERSUM: Технические науки", секция «Приборостроение, метрология и информационно - измерительные системы». - № 9. - сентябрь. - 2021. - с. 42 - 45.

3. Б.А. Кузяков.. Материалы XXI Международная научно - практическая конференция «Актуальные вопросы науки». М. - 2015. - с.10 - 14.
4. А.С. Зернов, В.Д. Николаев. Космическая техника и технологии. - №1 (12). -2016. -с. 29 - 38.
5. Диодные лазерные модули НТО «ИРЭ- Полюс».
-М2013;www.ntoirepolus.ru/products_low_dlm.html.
6. Ю.П. Семенов, В.Н. Бранец, Ю.И. Григорьев и др. Космические исследования. - 1994. - т. 32.
- № 4, 5. - с. 186 - 193.