

*Л. В. Шастин<sup>1,2\*</sup>, Б. В. Поллер<sup>1,2</sup>, А. В. Бритвин<sup>2</sup>*

## **О характеристиках источников оптических излучений для атмосферной связи с БПЛА с использованием волоконного и кольцевого сумматоров**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\*e-mail: ocejlotik@gmail.com

**Аннотация.** В настоящее время использование источников оптических излучений является довольно популярным и перспективным способом передачи информации. Однако, в этой области все еще есть множество направлений, которые являются недостаточно исследованными. К примеру, использование оптических передатчиков для управления и ориентации малых БПЛА, а также увеличение эффективности такой связи за счет различных сумматоров. В данной работе были рассмотрены и оценены некоторые методы построения оптической линии связи с малым БПЛА с использованием волоконных сумматоров.

**Ключевые слова:** ультрафиолетовая (УФ) линия беспроводной связи, ориентация малых БПЛА, УФ-светодиоды, УФ-матрица, волоконное суммирование, кольцевой волоконный сумматор

*L. V. Shastin<sup>1,2\*</sup>, B. V. Poller<sup>1,2</sup>, A. V. Britvin<sup>2</sup>*

## **On the Characteristics of Optical Radiation Sources for Atmospheric Communication with UAVs Using Fiber and Ring Adders**

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation  
\*e-mail: ocejlotik@gmail.com

**Abstract.** Currently, the use of optical radiation sources is a fairly popular and promising way of transmitting information. However, there are still many areas in this field of science that are insufficiently explored. For example, the use of optical transmitters to control and orient small UAVs, as well as increasing the efficiency of such communication due to various adders. In this paper, some methods of constructing an optical communication line with a small UAV using fiber adders were considered and evaluated.

**Keywords:** ultraviolet (UV) wireless communication line, orientation of small UAVs, UV LEDs, UV matrix, fiber summation, ring fiber adder

### ***Введение***

Атмосферная оптическая лазерная связь (АОЛС) на сегодняшний день весьма распространена и активно используется из-за своих преимуществ, таких как, например, направленность излучения и большая пропускная способность. В Америке, Китае, России и других странах существует огромное множество различных лазерных систем связи типа точка-точка для различных целей. От спут-

никовой связи до связи между двумя зданиями и для других задач. Но это, в основном, связь между неподвижными объектами. Что же касается осуществления лазерной связи с подвижными объектами, эта область пока что слабо исследована. Возьмем, к примеру, еще одну активно развивающуюся область: управление беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). В большинстве своем, БПЛА управляются с помощью радиоволн, и, несмотря на преимущества лазерной связи, исследований в области связи с БПЛА с помощью лазерного излучения, все еще немного, например, [1].

### ***Аналитическая оценка оптических характеристик трассы***

Рассматриваемая атмосферная линия связи выглядит следующим образом: на наземном пункте установлена УФ передающая лазерная система, сигнал с которой передается на БПЛА. Сам БПЛА находится на расстоянии  $L$  по земле от наземного пункта (НП) и на расстоянии  $h$  над землей. С помощью приемной системы на основе планарно-волоконных антенн БПЛА принимает сигнал с наземного пункта и обрабатывает его. В свою очередь БПЛА с помощью находящихся на нем датчиков, видеокамеры и УФ лазерного передатчика посылает обратный сигнал на наземный пункт. Схематично рассматриваемая линия связи представлена на рис. 1.

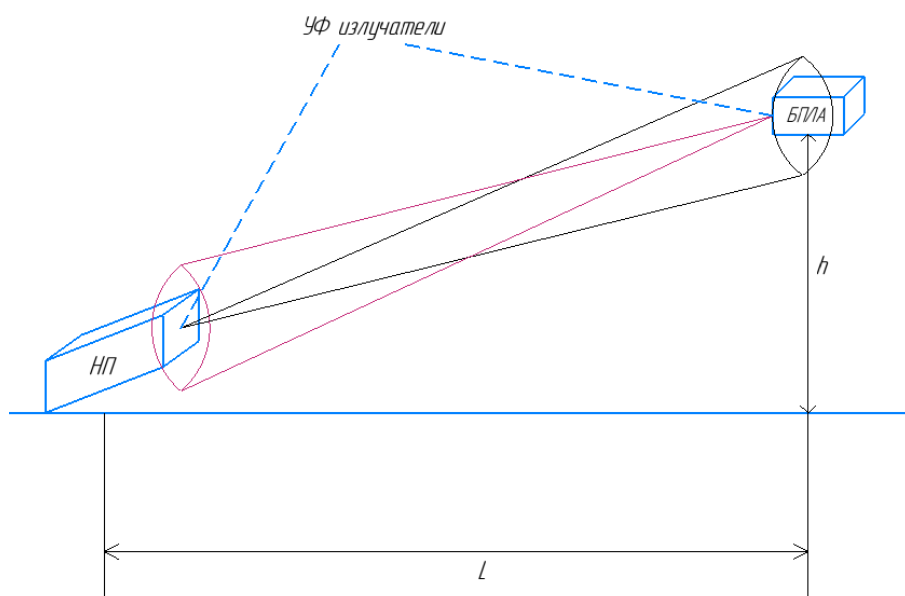


Рис. 1. Схематичная линия связи Наземный пункт – БПЛА

### ***Расчет оптических характеристик трассы***

Пусть известна излучаемая мощность нашей УФ матричной передающей системы  $P_0$ . Учтем, что через волоконный сумматор можно передавать излучение с разными длинами волн одновременно, и проведем расчет оптических характеристик трассы для  $\lambda=360$  нм и для  $\lambda=800$  нм. Будем, также, считать, что наша передающая система имеет перестраиваемый по расстоянию угол расходимости (табл. 1).

Таблица 1

*Зависимость угла расходимости системы от расстояния*

Расстояние $L$ , м	Угол расходимости $\theta$ , °
100	5
500	2
1000	1
2000	0,5

Чтобы учесть влияние атмосферы на распространяющееся в ней излучение, возьмем параметр метеорологической дальности видимости (МДВ) равным  $S_m=3$  км.

Далее, найдем значение мощности, которая будет падать на планарно-волоконную антенну на заданном расстоянии  $P_{ПВА}$ . Для этого будем использовать закон Бугера – Ламберта – Бера, формулу для коэффициента ослабления лазерного излучения атмосферой [2] и простейшие геометрические соображения.

Результаты расчетов  $P_L$ , (мощность излучения, ослабленного атмосферой, на заданном расстоянии)  $S_{\text{пятна}}$ , (площадь пятна на заданном расстоянии)  $I_L$  (облученность на заданном расстоянии) и  $P_{ПВА}$  для различных  $L$  в заданных условиях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета трасы

Расстояние $L$ , м	$S_{\text{пятна}}$ , м <sup>2</sup>	$\lambda$ , нм	$P_L$ , отн.ед.	$I_L$ , $\frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$	$P_{ПВА}$ , отн.ед.
100	239,97	360	0,83	34,6	34,6
		800	0,91	37,9	37,9
500	957,8	360	0,39	4,11	4,11
		800	0,62	6,49	6,49
1000	957,8	360	0,16	1,6	1,6
		800	0,39	4,04	4,04
2000	957	360	0,024	0,25	0,25
		800	0,15	1,56	1,56

Из результатов видно, что лазерное излучение удобно для построения передающих систем управления БПЛА. Оценка влияния МДВ на  $\lambda=800$  нм в работе [3] показывает возможность лазерной связи с помощью УФ излучения на расстоянии 1 км при МДВ менее 80 м в видимом диапазоне.

**Метод построения системы лазерной связи с БПЛА с использованием волоконного сумматора**

Структура излучающей системы, построенной по такому методу представлена на рис. 2. Проведенные нами эксперименты показали, что такой сумматор общей длиной порядка 25 см может суммировать излучения с разными длинами волн без потерь и без взаимного ослабления [4]. Также, в этом методе может использоваться сумматор другого вида. Вместо того, чтобы стыковать входные волокна с одним

выходным волокном, в таком сумматоре из входных волокон, плотно упаковывая их вместе, формируют многоканальное волокно. Идея такого многоканального волокна хорошо описана в работе [5]. С одной стороны, это позволяет исключить из конструкции сумматора хрупкие места стыка волокон, что увеличивает общую прочность и надежность излучающей системы. С другой стороны, такой подход дает диаметр выходного отверстия, равный диаметру входного волокна, умноженному на количество источников излучения, что ощутимо уменьшает плотность энергии излучающей системы на больших расстояниях. Этот метод вполне подходит как для наземного пункта, так и для подвижного объекта, так как позволяет сделать сравнительно небольшую и легкую излучающую систему.

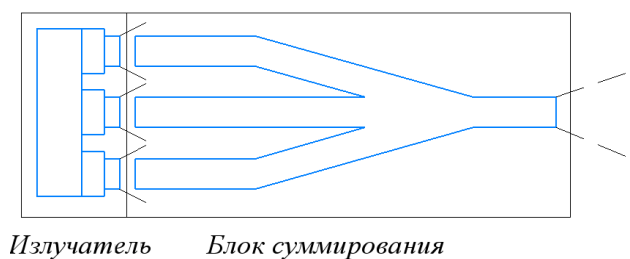


Рис. 2. Схематичный пример структуры излучающей системы, построенной по первому методу

### ***Метод суммирования энергии с помощью кольцевой линии задержки***

Еще один метод суммирования излучения даже не требует дополнительных источников излучения. В этом методе происходит суммирование излучения одного единственного источника. Осуществляется это следующим образом (рис. 3.). Источник излучения (1) посылает импульсы в оптоволокно (2). Само оптоволокно выполнено в форме кольца, на выходе которого установлен своеобразный затвор – оптический коммутатор (3). Стандарт частоты (4) определяет частоту самого импульса, а также частоту ввода последующих импульсов в волокно. Каждый такой импульс увеличивает значение мощности суммарного импульса в волокне и, спустя определенное время, определяемое с помощью стандарта частоты и зависящее от времени прохода излучения в волокне, коммутатор открывается, выпуская все накопившееся за это время в кольце излучение. Примеры таких систем описаны в работах [6] и [7].

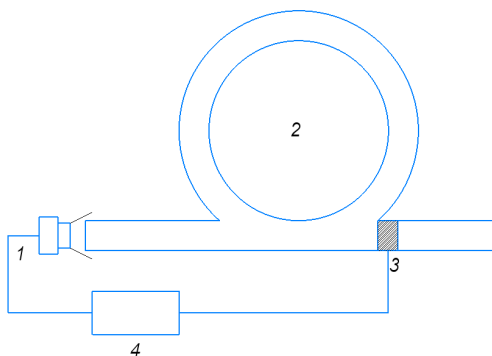


Рис. 3. Схематичный пример кольцевого сумматора

Легко понять, что использование такого сумматора при создании излучающей системы позволит значительно увеличить ее выходную мощность. Это делает кольцевой сумматор более чем подходящим для использования на наземном пункте. Однако, такой сумматор имеет ощутимо более сложную структуру, чем сумматор, рассмотренный ранее, что может усложнить размещение кольцевого сумматора на малом БПЛА.

### *Заключение*

Нами были рассмотрены и оценены, в том числе экспериментально, два метода построения системы лазерной связи с БПЛА с помощью волоконных сумматоров. По результатам оценки оба метода показали себя весьма перспективными для применения. Метод построения с использованием кольцевой линии задержки является значительно более эффективным, по сравнению с использованием простого волоконного сумматора, однако, сильно проигрывает ему в простоте реализации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кусакин О.В., Петухов А.Г., Козирацкий А.А. Энергоэффективный способ передачи информации с беспилотного летательного аппарата малого класса по оптическому каналу на основе использования ретроотраженного лазерного излучения. «Радиолокация, навигация, связь» Сборник трудов XXVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти Б.Я. Осипова. В 6-ти томах. Том 2. Воронеж, 2022. – С. 349–360.
2. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для вузов. –Изд. 6-е, перераб. и доп. –М.: Логос, 2011. – 568 с.
3. Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н. Особенности приборов солнечно-слепого УФ-диапазона спектра // Научно-технический журнал «Фотоника». – Том 15, №6. – 2021. – С. 502–524.
4. Шастин Л. В., Бритвин А. В., Поллер Б. В. Характеристики волоконных сумматоров УФ излучений для УФ линий связи и ориентации БПЛА. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Том 8, №1. – С. 29–34.
5. Шилов И.П., Даниелян Г.Л., Замятин А.А., Маковецкий А.А., Кочмарев Л.Ю. Многожильный высокоапертурный волоконно-оптический зонд на основе световодов типа кварц-кварц для флуориметров ближнего инфракрасного спектрального диапазона // Оптический журнал. – 2019.– Т. 86. № 4. – С. 59–62.
6. Хан В. А. Формирование оптических каналов в телекоммуникационных и измерительно-информационных системах, Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.12.13. – Новосибирск, СибГУТИ.– 2006 г. – 362 с.
7. Алексеев В.А., Зарипов М.Р., Юран С.И., Усольцев В.П. Энергоэффективный источник импульсного лазерного излучения на кольцевой линии задержки // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88. № 7.– С. 12–17.

© Л. В. Шастин, Б. В. Поллер, А. В. Бритвин, 2024