

*Н. В. Шахов<sup>1,2,\*</sup>, А. В. Бритвин<sup>1</sup>, Б. В. Поллер<sup>1,2</sup>, Н. С. Никитенко<sup>1</sup>*

## **Сегментная люминесцентная антенна для УФ линий связи и ориентации БПЛА**

<sup>1</sup> Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

\* e-mail: nikolay.shakhov@gmail.com

**Аннотация.** Использование радиодиапазона сопряжено с необходимостью лицензирования канала. Есть лишь несколько частот, не требующих лицензирования, но подобные каналы связи слишком загружены пользователями. Возможным аналогом является атмосферная лазерная связь, в частности, в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне. В подобных задачах хорошо показывают себя люминесцентные антенны (ЛА), эффективность работы которых, зависит от формы образца. Целью работы является исследование наиболее эффективной формы ЛА для УФ линии связи и ориентации, а также обзор проблем, связанных с их изготовлением. Приводится модель планируемой системы из люминесцентных антенн, служащая для приема сигналов, а также результаты экспериментальных исследований квантовой эффективности сегмента.

**Ключевые слова:** атмосферная ультрафиолетовая линия связи, ориентация малых БПЛА, люминесцентная антенна

*N. V. Shakhov<sup>1,2,\*</sup>, A. V. Britvin<sup>1</sup>, B. V. Poller<sup>1,2</sup>, N. S. Nikitenko<sup>1</sup>*

## **Segment Fluorescent Antenna for UV Communication Lines and UAV Orientation**

<sup>1</sup> Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: nikolay.shakhov@gmail.com

**Abstract.** The use of the radio band is associated with the need to license the channel. There are only a few frequencies that do not require licensing, but such communication channels are too busy with users. A possible analogue is atmospheric laser communication, in particular in the UV range. In such tasks, fluorescent antennas (FA) show themselves well, the efficiency of which depends on the shape of the sample. The aim of the work is to study the most effective form of FA for UV communication lines and orientation, as well as an overview of the problems associated with their manufacture. A model of the planned system of fluorescent antennas used for receiving signals is presented, as well as the results of experimental studies of the quantum efficiency of the segment.

**Keywords:** atmospheric ultraviolet communication line, orientation of small UAV, fluorescent antenna

### ***Введение***

Радиосвязь требует лицензирования канала, а использование разрешенных частот сопряжено с необходимостью фильтровать шумы. Альтернативным вариантом может быть использование атмосферной лазерной связи, но использо-

вание стандартных линзовых систем предполагает, что заранее известно местоположение оператора, что является частным случаем. В общем случае, необходим большой угол поля зрения приемника, что при использовании зеркал и линз гарантирует большие массогабариты приемной системы, что является неоптимальным для установки на БПЛА. Более приемлемым вариантом является использование системы из люминесцентных антенн (ЛА), представляющих собой полимерные пленки с добавлением молекул люминофора, способных поглощать падающее излучение и переизлучать его на большей длине волны. Вследствие волноводных эффектов излучение распространяется по волноводу и попадает на волокно приемной аппаратуры [1]. ЛА обладают углом поля зрения до 120 градусов, небольшим весом (несколько десятков грамм в зависимости от размеров) и гибкостью конфигурации при изготовлении. Использование люминофоров со спектром поглощения в УФ области, обуславливается отсутствием влияния прямой солнечной засветки (солнечно-слепой диапазон).

Недостатками системы являются: помехи (если на ЛА светит другой источник УФ излучения), небольшая квантовая эффективность антенны в сравнении с интенсивностью источника, а также узкий спектр рабочей длины волны (порядка пары десятков нанометров).

Длительность работоспособности ЛА зависит от фотоустойчивости люминофора и полимера [2]. Также на люминесценцию оказывает влияние температура окружающей среды. В результате исследований было установлено, что повышение температуры приводит к понижению выходного сигнала с ЛА [3].

На текущий момент продолжают работы по созданию системы люминесцентных антенн, способных принимать сигналы с любого направления. Ниже (рис. 1) приведена схема эксперимента работы и системы люминесцентных антенн (ЛА). Оператор с земли задает точку в пространстве, куда должен лететь БПЛА. БПЛА поднимается до точки вдоль луча, принимая сигнал на антенну. Его задача двигаться так, чтобы луч всегда светил в центр антенны. На рис. 1:  $L$  – расстояние до точки измерения вдоль земли;  $h$  – высота;  $d$  – расстояние между оператором и БПЛА;  $\alpha_{л}$  – угол между направлением луча и землей;  $\alpha_{пад}$  – угол, под которым излучение падает на люминесцентную антенну (угол наклона).

В данный момент остается нерешенным вопрос об наиболее оптимальной форме антенн и их расположении на БПЛА.

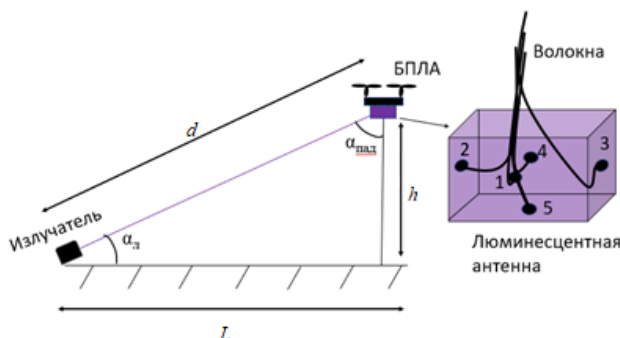


Рис. 1. Схема эксперимента

## Методы и материалы

В предыдущих работах предполагалось создание системы из пяти прямоугольных антенн, оснащенных кабелями для сбора излучения люминесценции. Тем не менее, такая форма антенны является неоптимальной, поскольку лишь часть излучения, ограниченная коэффициентом сбора волокна, попадает на приемную аппаратуру. Остальное излучение теряется. Увеличению количества собираемого излучения может способствовать либо зазеркаливание торцов, чтобы часть света вернулась в волокно, либо создание параболического сегмента, учитывающего коэффициент сбора волокна (рис. 2).

В этом отношении может помочь параболического форма антенна (рис.2).

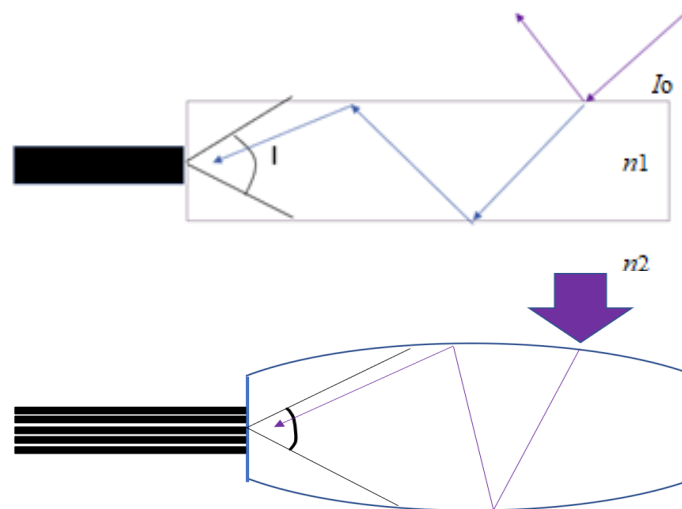


Рис. 2. Форма антенны старого и нового образцов, соответственно

Тип БПЛА – квадрокоптер DJI Phantom P330Z. Нижняя часть БПЛА оснащена посадочными креплениями прямоугольного вида, имеющими размер 11 на 13 см. Фронтальные размеры дрона 11 на 15 см. Именно в нижнюю часть планируется разместить систему антенн, размеры которых будут ограничены посадочными креплениями.

### **Проблемы синтеза люминесцентных антенн**

Выбор формы ЛА уже является проблемой. Прямоугольные антенны самые тривиальные, но теоретически можно достичь большей эффективности, изменив форму торцевых сторон, при условии, что они имеют зеркальное отражение. Это существенно увеличит принимаемый сигнал. Изменение торцов должно происходить таким образом, чтобы коэффициент сбора волокна имел наибольшее значение. Но подбор параметров предполагаемой формы требует точного математического расчета.

Другой проблемой является однородность и идентичность сегментов. Задача синтеза антенны не является технически сложной, но воспроизвести с высокой точностью сегмент, подобный первичному, затруднительно без специаль-

ного оборудования. Качество зависит от шагового двигателя, его смещения по двум осям, плавности схода и полировки.

Существенным фактором является точность позиционирования волокна. Даже при идеальной форме антенны незначительное смещение волокна относительно рассчитываемого для стыковки угла отразится на сигнале.

### ***Квантовая эффективность параболического сегмента***

Сегментная люминесцентная планарно-волоконная антенна (рис. 3) ПВА располагалась под УФ излучателем с длиной волны 365 нм на расстоянии 45 см. Облученность в месте измерения составила 1 Вт/м<sup>2</sup>. Волокна ПВА были направлены в головку измерителя мощности для измерения люминесценции. Рабочая площадь антенны:

$$S = 53 \cdot 30 = 1590 \text{ мм}^2. \quad (1)$$

Таким образом, антенна захватывает излучение мощностью 1590 мкВт при облученности 1 мкВт/мм<sup>2</sup>. Среднее значение люминесценции составило 180 нВт/мм<sup>2</sup>. Учитывая, что излучение выходит со всех торцов пленки, суммарная площадь торцов:

$$S = 2 \cdot (30 + 53) = 166 \text{ мм}^2, \quad (2)$$

а суммарная люминесценция:

$$P = 166 \cdot 0,180 = 30 \text{ мкВт}, \quad (3)$$

т.е. квантовая эффективность ЛА составляет 2% относительно падающего излучения.



Рис.3. Пример параболической антенны

## *Методы повышения эффективности люминесценции*

Эффективность люминесценции антенн зависит как от полимерной основы и люминофора, так и от способа изготовления. Например, фотохимическая стабильность при стандартной полимеризации раствора полимера (ПММА) и люминофора (ТТФААЕи,) составляет  $120 \pm 5$  мин [4]. Но если добавлять люминофор в раствор в момент полимеризации, то фотохимическая стабильность возрастает до  $170 \pm 5$  мин. Наличие наночастиц серебра, полученных методом лазерной абляции, в пленках поливинилового спирта дает плазмонное усиление (только для длины возбуждения 455 нм) [5]. С увеличением концентрации наночастиц увеличивается интенсивность флуоресценции, и растет время жизни возбужденного состояния молекул эозина.

## *Результаты*

Изготовлен сегмент ЛА параболического типа с площадью рабочей поверхности  $15,9 \text{ см}^2$ . Рассчитана квантовая эффективность ЛА параболического вида, которая при подаче мощности 1600 мкВт на выходе излучает 30 мкВт, что составляет 2% от принимаемого антенной излучения. Выявлены основные проблемы синтеза ЛА. Предложены методики повышения эффективности люминесценции

## *Заключение*

Исследования изготовленного параболического сегмента ЛА показали устойчивость к рабочему излучению, а также к солнечной засветке. Данные образцы могут использоваться в натуральных испытаниях и пригодны для работы на больших расстояниях.

В дальнейшем планируется разместить антенну на БПЛА и провести натурные испытания. Дополнительно будет проведено сравнение прямоугольной и параболической антенны с равной площадью рабочей поверхности, а также аналитический расчет наиболее эффективной формы ЛА.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Л.В. Шастин, Н.В. Шахов. О построении ультрафиолетовой линии связи и ориентации для управления малым беспилотным летательным аппаратом// Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 22 сентября 2022 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2022»: сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2022. стр. 161–166.
2. А. В. Бритвин, Н. С. Никитенко, А.Б. Поллер, Б. В. Поллер, Н.В. Шахов. О фотостабильности акрилатных и полиметилметакрилатных планарно-волоконных структур с люминофорами CUMARIN 7, 47, 120; РОРОР 6, NOL 8, 12 для ультрафиолетовых информационных систем // Оптика и спектроскопия. – 2022. – №2. – С. 311–316.
3. Бритвин А. В., Никитенко Н. С., Поллер А. Б., Поллер Б. В, Шахов Н. В. Характеристики трендов в динамике излучения полимерных планарно-волноводных структур с люминофорами для ультрафиолетовых информационных систем при длительных натуральных испытаниях // журнал "Проблемы информатики", 2022, № 3, с. 5-13.
4. Иваницкий А.Е., Минич А.С., Буценко Е.С., Гизбрехт А.В. Зависимость фотофизических свойств полимерных светопреобразующих композиций с органическими люмино-

форами от способа их получения // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 10. – С. 12-16.

5. Цибульникова А.В. Плазмонное усиление флуоресценции эозина в пленках поливинилового спирта с наночастицами золота и серебра / А.В. Цибульникова, В.А. Слежкин, В.В.Брюханов // Инновации в науке и образовании -2013: X Международная научная конференции (25-27 сент.): труды в 2 ч./КГТУ. – Калининград, ч. 1. – 2013. – С. 116–119.

© Н. В. Шахов, А. В. Бритвин, Б. В. Поллер, Н. С. Никитенко, 2023