

О построении ультрафиолетовой линии связи и ориентации для управления малым беспилотным летательным аппаратом

Л. В. Шастин^{1,2}, Н. В. Шахов^{1,2}*

¹ Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

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

Аннотация. Целью данной работы является анализ методов построения ультрафиолетовой (УФ) линии связи и ориентации для управления малым беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). В условиях сложного рельефа местности затрудняется прохождение радиоволн, поэтому необходимо использование оптического диапазона для связи и ориентации. В УФ диапазоне значительно снижаются оптические помехи, и возможно создание малогабаритных пленочных антенн для БПЛА. Приводятся характеристики УФ связи с использованием пленочных люминесцентных антенн и многокристалльных полупроводниковых излучателей. Проанализирован метод ориентации БПЛА с помощью бортовых пленочных антенн.

Ключевые слова: ультрафиолетовая линия беспроводной связи, ориентация малым БПЛА, люминесцентные пленочные антенны, многокристалльные УФ излучатели

On the construction of ultraviolet communication line and orientation for controlling a small unmanned aerial vehicle

L.V. Shastin^{1,2}, N.V. Shakhov^{1,2}*

¹ Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

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

Abstract. The purpose of this work is to analyze methods for constructing an ultraviolet (UV) communication line and orientation for controlling a small unmanned aerial vehicle (UAV). In conditions of difficult terrain, the passage of radio waves is difficult, so it is necessary to use the optical range for communication and orientation. In the UV range, optical interference is significantly reduced and it is possible to create small-sized film antennas for UAVs. The characteristics of UV communication using film fluorescent antennas and multi-crystal semiconductor emitters are given. The UAV orientation method using onboard film antennas has been analyzed.

Keywords: ultraviolet wireless communication line, orientation of small UAVs, fluorescent film antennas, multi-crystal UV emitters

Введение

Предположим, требуется оперативно провести мониторинг области на предмет паводков, техногенных катастроф и подобных явлений. Наиболее быстро это делается при помощи беспилотного летательного аппарата, вследствие чего необходимо оперативно осуществлять контроль над ним. При этом

из-за техногенных катастроф или условий местности воспользоваться радиодиапазоном может быть затруднительно. Поэтому есть возможность перейти на оптический диапазон и, соответственно, передавать или получать информацию через оптическую ультрафиолетовую линию связи [1–4]. Однако очевидными сложностями являются фокусировка излучения источника на БПЛА, а также требования к большому углу поля зрения приемника летательного аппарата, при малых габаритах и массе. Для этих целей отлично подойдут люминесцентные антенны, обладающие небольшими, относительно БПЛА, размерами и углом поля зрения в 180° . Люминесцентные антенны представляют собой полимерные пластинки, способные собирать падающее на их рабочую поверхность излучение вследствие волноводных эффектов. Затем это излучение распространяется по антенне и попадает на приемную аппаратуру.

Предполагается создать лазерную линию связи между неподвижным оператором и движущимся объектом – БПЛА. Это позволит управлять беспилотником при помощи лазерного излучения, а также проводить теоретическую оценку ориентации БПЛА (какое излучение будет попадать на приемную аппаратуру БПЛА при заданной высоте и расстоянии от оператора; также можно решать обратную задачу).

УФ излучение от оператора будет приниматься системой из планарно-волоконных антенн. На текущий момент остается нерешенной задача о разработке наиболее оптимальной конструкции подобных антенн, поскольку вследствие волноводных и оптических эффектов не всегда получается задействовать всю рабочую поверхность. Так, в текущей работе будет рассмотрена система из пяти планарных антенн, образующих форму куба.

Методы и материалы

Ниже (рис. 1) приведена предложенная в работе схема эксперимента 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.

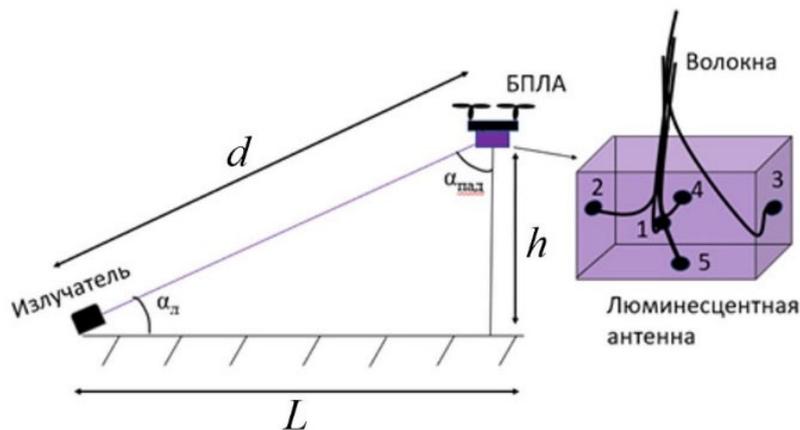


Рис. 3. Схема эксперимента

Здесь L – расстояние до точки измерения вдоль земли; h – высота; d – расстояние между оператором и БПЛА; $\alpha_{лj}$ – угол между направлением луча и землей; $\alpha_{падj}$ – угол, под которым излучение падает на люминесцентную антенну (угол наклона). Планируется установить пять антенн, образующих форму куба, для возможности принимать сигнал с любого направления и для ориентации. При этом для каждой антенны будет свой $\alpha_{падj}$, связанный с $\alpha_{лj}$ следующим соотношением:

$$\alpha_{падj} = 90^\circ - \alpha_{лj}. \quad (1)$$

БПЛА с помощью блока анализа корректирует траекторию своего движения относительно луча. Это происходит за счет сравнения значений получаемых сигналов с каждой из антенн. К примеру, чтобы БПЛА всегда сохранял свою ориентацию в пространстве относительно оператора, сигнал должен приниматься только передней антенной (ЛА1) и нижней (ЛА5). Если сигнал начинают принимать боковые антенны – это означает, что ориентация БПЛА смещена относительно первоначального курса, и необходимо развернуться, пока сигнал с боковых антенн не занулится. Оператор преобразования от блока анализа на БПЛА на антеннах при правильной ориентации:

$$U_1 = U_{\max} Q(L) \cos(\alpha_{пад1}), \quad (2)$$

$$U_5 = U_{\max} Q(L) \cos(\alpha_{пад5}), \quad (3)$$

$$U_{2,3,4} = 0, \quad (4)$$

где $U_{1,2,3,4,5}$ – напряжения на соответствующих антеннах; $Q(L)$ – коэффициент преобразования, зависящий от расстояния. Он определяется методом импульсной лазерной дальнометрии.

В качестве источника сигнала используется четырехкристальный излучатель (рис. 2), разработанный совместно специалистами АО «НИИПП» и ИЛФ СО РАН.

Экспериментальный образец такого излучателя на кристаллах КНР обладает следующими характеристиками:

- длина волны: $\lambda \approx 360$ нм;
- размер одного кристалла: $S_c = 1 \times 1$ мм;
- диаметр излучателя: $d_{\text{внеш}} = 8$ мм; $d_{\text{внутр}} = 6$ мм;
- расстояние между кристаллами: $l \approx 500$ мкм;
- рабочий ток: $I = 0,2$ А на каждый кристалл.

Исследования такого излучателя показали, что он создает большую облученность на БПЛА, чем матрица из УФ диодов, и обеспечивает большую дальность передачи видеосообщений с БПЛА оператору.

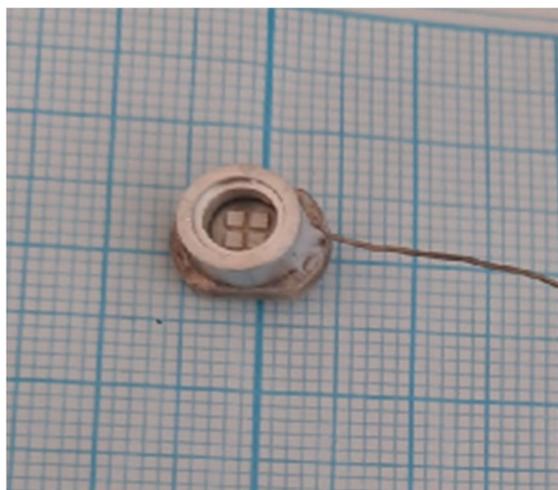


Рис. 4. Четырехкристальный УФ излучатель

Одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на описываемый эксперимент, является фотоустойчивость выходного сигнала люминесцентных антенн. Ранее было установлено, что перспективны для использования в ЛА полимеры типа полиметилметакрилатов и акрилатов и люминофоры типа Кумаринов [5]. Для исследований были разработаны экспериментальные образцы ЛА, поставленные на длительные натурные испытания при солнечной засветке, УФ импульсном облучении и разных температурах окружающей среды.

Результаты

Получена оценка влияния температуры на уровень люминесценции с ЛА. На рис. 3 представлен график зависимости сигнала от пленки от температуры ее поверхности и от количества часов испытаний.

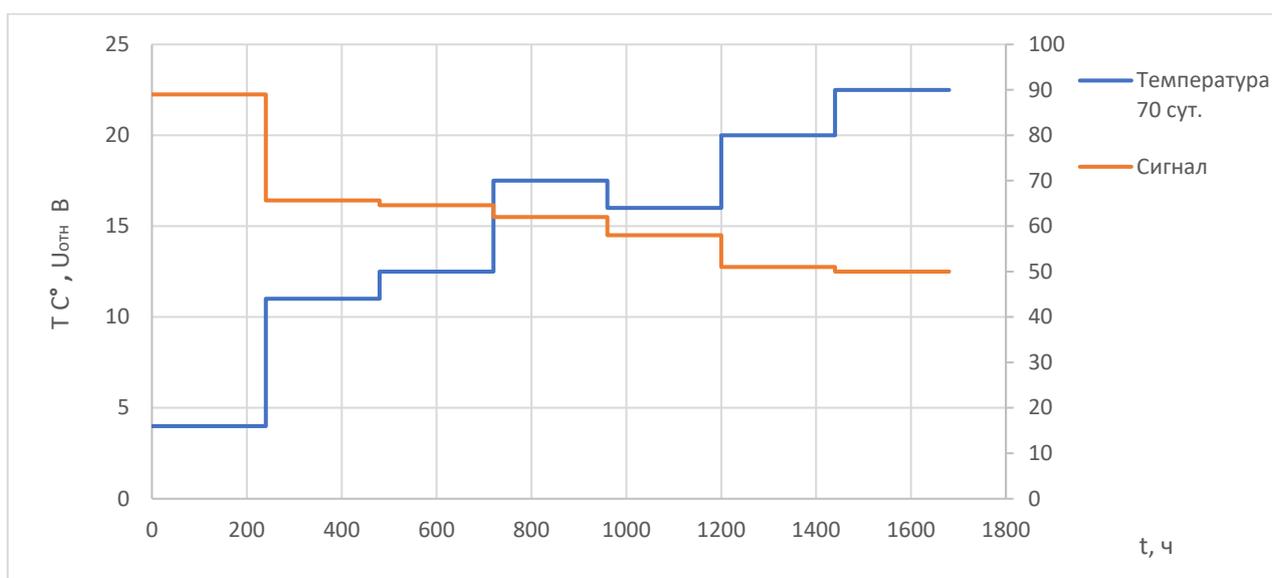


Рис. 3. Влияние температуры на сигнал

Основной целью измерений были оценка фотоустойчивости ЛА при УФ импульсном облучении и проверка гипотезы о снижении сигнала при нагреве антенны. Стационарный импульсный излучатель генерировал импульсный поток 70 суток при изменении температуры воздуха от минус 3°C до плюс 25°C. Данные измерения проводились также при солнечном облучении антенны все 70 суток.

Полученные данные свидетельствуют о фотостабильности выходного сигнала с ЛА, регистрировалось увеличение излучения люминесценции при уменьшении температуры окружающей среды, что наблюдается, например, при подъеме БПЛА на высоту до 1 км и более.

Заключение

Исследования многокристалльного излучателя для построения УФ линии показали, что он создает большую облученность на БПЛА, чем матрица из УФ диодов, и может обеспечивать большую дальность передачи видеосообщений с БПЛА оператору.

Полученные характеристики фотостабильности выходного сигнала с ЛА при УФ импульсном облучении и солнечной засветке показали перспективность использования полимерных люминесцентных преобразователей лазерных сигналов ЛА как для приема сигналов связи, так и для ориентации БПЛА при построении УФ линии. Увеличение излучения люминесценции при уменьшении температуры окружающей среды может дать улучшение сигнала при подъеме БПЛА на высоту, где происходит уменьшение температуры воздуха.

Дальнейшие работы планируется посвятить усовершенствованию параметров антенн и излучателей, способных выдавать больший уровень люминесценции при меньших массогабаритах.

Благодарности

Авторы благодарны сотрудникам ИЛФ СО РАН д.т.н. Поллеру Б.В., к.т.н. Бритвину А.В. за научную консультацию. Исследования проводились в рамках государственного задания Института лазерной физики СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. В. Бритвин, С. И. Коняев, Н. С. Никитенко, А. В. Поважаев, Б. В. Поллер, Ю. И. Щетинин. Методы построения и экспериментальные характеристики ультрафиолетовых атмосферных линий связи. // Успехи современной радиоэлектроники. – М. «РАДИОТЕХНИКА». – №1, 2019 г. – С. 25–28.
2. А. В. Бритвин, Н. С. Никитенко, В. Ф. Плюснин, А. В. Поважаев, Б. В. Поллер. Исследования по полимерной нанопотонике для синтеза сенсорных и телекоммуникационных устройств // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018»: сб. материалов в 2 т. – Т. 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 88–94.
3. А. В. Бритвин, А. В. Поважаев, Н. С. Никитенко, Б. В. Поллер. Характеристики оптико-электронной системы для контроля подвижных объектов и сред в приземной зоне лазерного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар.

науч. конф. «СибОптика-2018»: сб. материалов в 2 т. – Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 151–157.

4. А. В. Бритвин, Н. С. Никитенко, В. Ф. Плюснин, Б. В. Поллер. Энерго-временные преобразования лазерных импульсов в полимерных структурах с люминофорами для систем телекоммуникаций с беспилотными летательными аппаратами // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018»: сб. материалов в 2 т. – Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 211–221.

5. 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; POPOP 6, NOL8, 12 для ультрафиолетовых информационных систем / Оптика и спектроскопия. – №2. – 2022. – С. 311–316.

© Л. В. Шастин, Н. В. Шахов, 2022