

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ МАЛОГО КЛАССА ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕТРООТРАЖЕННОГО УПРАВЛЯЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.В. Кусакин, email: kusakin\_1984@mail.ru

А.Г. Петухов, email: st.st7@inbox.ru

Д.А. Дрынкин, email: dmitry.drynkin@yandex.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

***Аннотация.** В работе представлены методика и модель оценки возможности передачи информации БЛА по оптическому каналу на основе использования ретроотраженного управляющего лазерного излучения. Приведены результаты компьютерного моделирования величины энергетических характеристик принимаемого ретроотраженного лазерного излучения.*

***Ключевые слова:** ретроотраженное лазерное излучение, мощность лазерного излучения, беспилотный летательный аппарат, наземный пункт управления.*

## Введение

В настоящее время современные средства РЭБ активно используют беспилотную авиацию для решения задач комплексной технической разведки (КТК) и радиоразведки. Анализ возможности применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) малого класса в интересах решения задач радиоразведки и выполнения мероприятий КТК показал, что с помощью БЛА малого класса могут быть осуществлены следующие виды контроля: фотографический, телевизионный, инфракрасный, радиолокационный, радиоконтроль и радиационный контроль [1].

Для осуществления данных видов контроля БЛА совершает полет по заданному маршруту в ручном или в программных режимах управления, осуществляет съемку объектов и передает полученные фото- и видеозображения по каналам радиосвязи на наземный пункт управления (НПУ).

Однако в условиях сложной электромагнитной обстановки, при применении обеими противоборствующими сторонами РЭС различного

назначения, возникают существенные затруднения при выполнении функциональных задач БЛА. Радиоканал управления и передачи данных с БЛА малого класса будет функционировать с ненадлежащим качеством или его работа будет невозможна. Таким образом, традиционные каналы управления и передачи данных будут являться низкоэффективными [1].

Это обстоятельство обуславливает необходимость разработки альтернативных способов управления и передачи информации БЛА малого класса. Одним из возможных способов может являться управление и передача информации БЛА малого класса на основе использования оптического диапазона длин волн.

В работах [2, 3] предложен способ управления БЛА малого класса с использованием оптического диапазона длин волн. Однако вопрос передачи информации с БЛА на НПУ по оптическому каналу не рассматривался.

Поскольку возможности БЛА малого класса по переносу полезной нагрузки сильно ограничены и не позволяют дополнительно установить на него передающее устройство оптического диапазона с дополнительным источником питания, то для передачи информации с БЛА на НПУ предлагается использовать ретроотраженное от формирующей оптики БЛА управляющее лазерное излучение.

В связи с этим необходима разработка модели и методики оценки возможности передачи информации с БЛА на НПУ посредством применения ретроотраженного управляющего лазерного излучения.

Поэтому целью данной работы является разработка методики и модели, позволяющей оценить возможность передачи информации БЛА по оптическому каналу на основе использования ретроотраженного управляющего лазерного излучения.

### **1. Разработка методики оценки возможности передачи информации БЛА на НПУ с использованием ретроотраженного управляющего лазерного излучения**

В основе оценки возможности передачи информации с БЛА на НПУ будем использовать оценку величины энергетических и пространственно-временных характеристик принимаемого НПУ ретроотраженного лазерного излучения.

Схема, реализующая предлагаемый способ, представлена на рисунке 1.

Источник и приемник оптических сигналов входят в состав НПУ. На БЛА размещен зеркальный переотражатель, приемная и передающая формирующие оптические системы. Оператор осуществляет управление БЛА по азимуту и углу места путем перемещения в пространстве

диаграммы направленности управляющего лазерного излучения. Падающее на БЛА лазерное излучение отражается от оптической системы БЛА и принимается приемной системой НПУ.

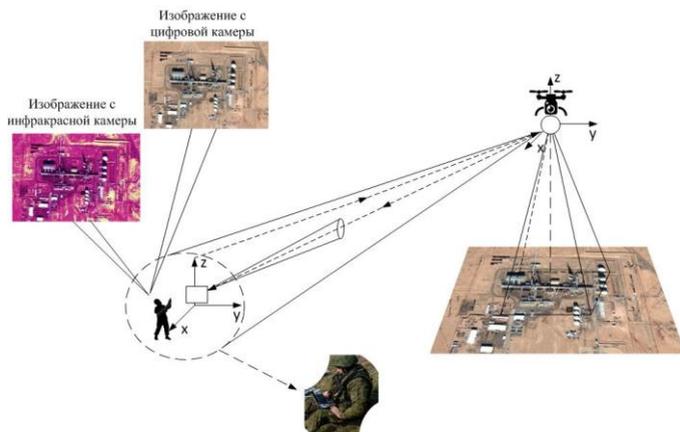


Рис. 1. Способ управления и передачи информации БЛА по оптическому каналу

При построении математической модели для типового случая геометрии распространения лазерного излучения (рис. 2) запишем мощность сигнала, попадающего на вход отражателей БЛА:

$$P_{\text{пад}}(t, L) = \frac{P_{\text{изл}}(t)}{w_{\text{изл}}} \frac{S_{\Sigma \text{ бля}}}{L^2(t)} T_{\text{атм}} K_{\text{опт. бля}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{изл}}$  – мощность, излучаемая передатчиком НПУ [Вт];  $w_{\text{изл}}$  – величина телесного угла расходимости излучения [ср];  $S_{\Sigma \text{ бля}}$  – площадь отражающих апертур БЛА [м<sup>2</sup>];  $L(t)$  – расстояние между НПУ и БЛА в момент времени  $t$  [м];  $T_{\text{атм}}$  – коэффициент пропускания атмосферы;  $K_{\text{опт. бля}}$  – коэффициент пропускания оптической системы БЛА.

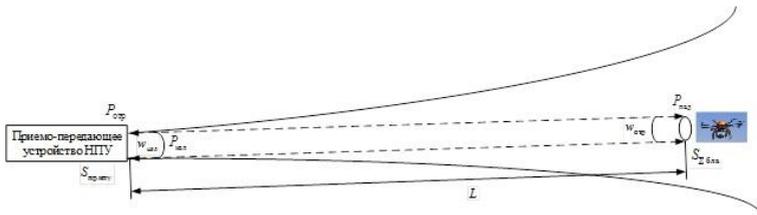


Рис. 2. Геометрия распространения лазерного излучения

Тогда отраженный от оптической системы БЛА и попадающий на вход приемника НПУ сигнал будет обладать мощностью:

$$P_{отр}(t, L) = P_{пад}(t, L) T_{атм} \frac{S_{пр.нпу}}{L^2} K_{опт.нпу} \frac{r_{отр}}{w_{отр}}, \quad (2)$$

где  $S_{пр.нпу}$  – площадь апертуры приемника НПУ [м<sup>2</sup>];  $K_{опт.нпу}$  – коэффициент ослабления оптической системы приемника НПУ;  $r_{отр}$  – коэффициент отражения излучения от оптической системы БЛА;  $w_{отр}$  – величина телесного угла расходимости отраженного от формирующей оптики БЛА излучения в направлении приемной апертуры НПУ [ср].

Подставив выражение (1) в уравнение (2) получим выражение для определения мощности принимаемого НПУ ретроотраженного от формирующей оптики БЛА оптического сигнала:

$$P_{отр}(t, L) = \frac{P_{изл}(t)}{w_{изл}} \frac{S_{\Sigma \text{ бла}} S_{пр.нпу}}{L^4} T_{атм}^2 K_{опт.бла} K_{опт.нпу} \frac{r_{отр}}{w_{отр}}. \quad (3)$$

Для управления БЛА, необходимо чтобы приемное устройство БЛА постоянно находилось в диаграмме направленности управляющего лазерного излучения. Поэтому управляющее лазерное излучение должно обладать такой шириной диаграммы направленности, чтобы такие факторы как дрожание руки оператора, порывы ветра, турбулентность атмосферы, а также инерционность БЛА, не привели к вылету БЛА за пределы его диаграммы направленности, т.е. поле зрения приемного устройства БЛА должно постоянно находиться в диаграмме направленности управляющего лазерного излучения.

В работе [4] представлены результаты имитационного моделирования процесса управления оператором беспилотным летательным аппаратом по оптическому каналу управления, учитывающие влияние дрожания руки оператора и позволяющие определить требуемую ширину диаграммы направленности

управляющего лазерного излучения, обеспечивающую постоянное нахождение БЛА в ее пределах. Поэтому величина телесного угла расходимости излучения  $w_{изл}$ , входящая в выражение (3) должна определяться требуемой шириной диаграммы направленности управляющего лазерного излучения, полученной в результате имитационного моделирования  $w_{им}$ , т.е.  $w_{изл} = w_{им}$ .

Обеспечение требуемой ширины диаграммы направленности может быть реализовано постановкой на выходе источника оптического излучения специального рассеивающего объектива, который будет формировать требуемую ширину диаграммы направленности управляющего оптического излучения.

Коэффициент пропускания атмосферы  $T_{атм}$  будет определяться выражением [5]:

$$T_{атм} = e^{-\alpha_{\Sigma} L}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{\Sigma}$  – коэффициент ослабления излучения в атмосфере [1/м];  $L$  – расстояние между НПУ и БЛА [м].

Электромагнитные волны видимого и инфракрасного диапазонов ослабляются при распространении в земной атмосфере за счет поглощения газовыми компонентами и за счет рассеяния. т.е. коэффициент ослабления атмосферы будет определяться выражением:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{погл} + \alpha_{рас}, \quad (5)$$

где  $\alpha_{погл}$  – коэффициент поглощения газовыми компонентами атмосферы,  $\alpha_{рас}$  – коэффициент рассеяния атмосферы.

Коэффициент рассеяния  $\alpha_{рас}$  можно определить с помощью метеорологической дальности видимости (МДВ)  $l$  [5]. Для чистой атмосферы (МДВ > 10 км)

$$\alpha_{рас} = \frac{3.91}{l} \left( \frac{\lambda}{0.55} \right)^{-n}, \quad n = 0.585 l^{1/2} \quad (6)$$

где  $l$  – метеорологическая дальность видимости [км];  $\lambda$  – длина волны лазерного излучения.

Коэффициент поглощения согласно [6] определяется выражением:

$$\alpha_{погл} = \bar{\alpha}(\lambda) \delta(h) \quad (7)$$

где  $\bar{\alpha}(\lambda)$  – показатель поглощения парами воды на 1 мм осадненного слоя [мм<sup>-1</sup>];  $\delta(h)$  – толщина осадненного слоя на трассе 1 км, определяемая формулой:

$$\delta(h) = \frac{2.167 \cdot 10^4}{273+t} \bar{\omega} p_{H_2O} e^{-0.515h}, \quad (8)$$

где  $t$  – температура воздуха [ $^{\circ}\text{C}$ ];  $\bar{\omega}$  – относительная влажность воздуха [%];  $p_{H_2O}$  – упругость насыщающих паров [МПа];  $h$  – высота [км].

Таким образом, выражение (3), определяющее мощность принимаемого НПУ ретроотраженного от формирующей оптики БЛА оптического сигнала, с учетом выражений (4) - (8) примет вид:

$$P_{\text{отр}}(t, L) = \frac{P_{\text{изл}}(t)}{w_{\text{изл.им}}} \frac{S_{\Sigma \text{бла}} S_{\text{пр.нпу}}}{L^4} e^{-2\alpha_{\Sigma} L} K_{\text{опт.бла}} K_{\text{опт.нпу}} \frac{r_{\text{отр}}}{w_{\text{отр}}}, \quad (9)$$

где

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{3.91}{l} \left( \frac{\lambda}{0.55} \right)^{-0.585 l^{1/4}} + \bar{\alpha}(\lambda) \frac{2.167 \cdot 10^4}{273+t} \bar{\omega} p_{H_2O} e^{-0.515h}. \quad (10)$$

Как видно полученное выражение (9) устанавливает количественную взаимосвязь между мощностью сигнала излучаемого лазерным передатчиком НПУ и мощностью принимаемого ретроотраженного сигнала, учитывает пространственные характеристики канала распространения, апертуры формирующих оптических элементов и ослабление излучений.

## 2. Компьютерное моделирование оценки величины ретроотраженного лазерного излучения

Исходные данные, при которых производилось моделирование: расстояние между НПУ и БЛА  $L=1000$  м; коэффициент ослабления атмосферы  $\alpha_{\Sigma}=0,18 \cdot 10^{-3}$  (1/м); длина волны излучения  $\lambda=0,905$  мкм; мощность в импульсе  $P_{\text{имп}}=34$  Вт; длительность импульса  $\tau_{\text{имп}}=1$  мксек; энергия в импульсе  $E_{\text{имп}}=0,034$  мДж; величина телесного угла расходимости излучения  $w_{\text{изл.им}}=5.753 \cdot 10^{-3}$  Ср.; площадь отражающих апертур БЛА  $S_{\Sigma \text{бла}}=5 \cdot 10^{-4}$  [м<sup>2</sup>]; площадь апертуры приемника НПУ  $S_{\text{пр.нпу}}=5 \cdot 10^{-3}$  [м<sup>2</sup>]; коэффициенты ослабления оптической системы приемника БЛА и НПУ  $K_{\text{опт.бла}}$  и  $K_{\text{опт.нпу}}=0.9$ ; коэффициент отражения излучения от зеркального переотражателя, установленного на БЛА  $r_{\text{отр}}=0.92$ ; величина телесного угла расходимости отраженного

от формирующей оптики БЛА излучения в направлении приемной апертуры НПУ  $w_{\text{отр}} = 1.01 \cdot 10^{-8}$  Ср.

Так для приведенных исходных данных отраженная мощность принимаемого лазерного излучения, полученная в результате моделирования, имеет значение  $7.6 \cdot 10^{-7}$  Вт, энергия принимаемого излучения  $7.6 \cdot 10^{-13}$  Дж.

Современные средства детектирования лазерного излучения обладают очень высокой чувствительностью и позволяют принимать мощности излучения на уровне 5 нВт [7], что позволяет сделать вывод о практической возможности передачи информации беспилотным летательным аппаратом малого класса по оптическому каналу на основе использования ретроотраженного управляющего лазерного излучения.

### **Заключение**

Таким образом, была разработана методика и модель оценки возможности передачи информации с БЛА на НПУ и произведена оценка величины энергетических характеристик принимаемого НПУ ретроотраженного лазерного излучения, подтверждающая практическую возможность применения предлагаемого способа коммуникации.

### **Список литературы**

1. Разработка способа скрытного управления беспилотным летательным аппаратом малого класса в условиях сложной электромагнитной обстановки в интересах радиоразведки и мероприятий КТК: отчет о НИР / ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж); рук. А.Ю. Козирацкий; исп.: О.В. Кусакин. Воронеж, 2020. – 90 с. № ГР 1611959. Инв. № У4954.

2. Козирацкий А.Ю., Кусакин О.В., Фролов М.М., Козирацкий А.А. Управление беспилотным летательным аппаратом типа «квадрокоптер» в условиях сложной электромагнитной обстановки // Материалы XIX международной НМК «Информатика: Проблемы, методология, технологии». Воронеж 14-15 февраля 2019. – Воронеж: ВГУ, 2019. – С. 368-373.

3. Козирацкий А.Ю., Кусакин О.В., Фролов М.М., Козирацкий А.А. Способ управления беспилотным летательным аппаратом типа «квадрокоптер» в условиях сложной электромагнитной обстановки // Сборник научных статей по материалам 6-й международной НПК «Академические жуковские чтения». Воронеж 14-15 ноября 2018. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019. – С. 162-166.

4. А.Ю. Козирацкий, О.В. Кусакин, М.М. Фролов, А.А. Козирацкий. Имитационное моделирование процесса управления

беспилотным летательным аппаратом типа «квадрокоптер» с использованием оптического диапазона длин волн / Сборник научных статей по материалам VII международной научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения» – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА» – 2019. – С.93-97.

5. Антонов М.А. Источники и приемники оптического излучения. Конспект лекций по дисциплине «Источники и приемники излучения». Казань, КНИТУ им. А.Н. Туполева, 2013. – 117с.

6. Борейшо А.С. Лазеры: Устройство и действие: Учеб. пособие. Мех. ин-т. СПб, 1992. – 215 с.

7. Азимут Фотоникс [Электронный ресурс]: Измерители мощности энергии лазера. – Режим доступа : <http://www.azimp.ru>