



УДК 681.5.08  
ГРНТИ 78.25.31

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДВИЖНЫХ НАДВОДНЫХ ЦЕЛЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ТИПА «МУЛЬТИКОПТЕР»

*В.В. ШИПКО, кандидат технических наук  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье приведены модели и алгоритмы определения координат и параметров движения надводных целей с помощью оптико-электронной системы установленной на беспилотном летательном аппарате типа «мультикоптер». Разработанные алгоритмы позволяют осуществлять пассивную координатометрию надводных целей в условиях взаимных перемещений беспилотного летательного аппарата, оптико-электронной системы, надводной цели и базы с которой был запущен беспилотный летательный аппарат.

*Ключевые слова:* координаты цели, оптико-электронная система, квадрокоптер, беспилотный летательный аппарат.

## ABOUT SOME PECULIARITIES OF THE MOBILE SURFACE TARGETS COORDINATES DETERMINING BY THE UNMANNED AERIAL VEHICLE TYPE «MULTICOPTER» OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM

*V.V. SHIPKO, Candidate of Technical sciences  
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article presents models and algorithms for determining the coordinates and motion parameters of surface targets using an optoelectronic system installed on a unmanned aerial vehicle type «multicopter». The developed algorithms allow passive coordinate measurement of surface targets in the conditions of mutual movements of an unmanned aerial vehicle, optoelectronic system, surface target and the base from which an unmanned aerial vehicle was launched.

*Keywords:* target coordinates, optoelectronic system, quadcopter, unmanned aerial vehicle.

**Введение.** В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно используются при решении различного рода военных и специальных задач, от разведки и радиоэлектронной борьбы, до наведения высокоточного оружия и даже самостоятельного поражения целей. Важными составляющими при решении поставленных задач являются определение дальности, относительных координат и параметров движения наземных/надводных целей (НЦ). Существуют алгоритмы радиолокационной координатометрии [1–3]. Основным недостатком радиолокационных методов является громоздкость аппаратуры и антенн, реализующие эффективные диаграммы направленности и алгоритмы обработки информации. Также к недостаткам можно отнести то, что радиолокационные методы являются активными и носители данных устройств могут быть легко обнаружены и уничтожены. Существующие способы и методы пассивной радиолокации [4] предназначенные для пеленгования радиоизлучающих объектов также обладают рядом технических ограничений. Основным их недостатком является непригодность для неизлучающих целей, которыми могут являться большинство объектов интереса. Поэтому актуальна задача повышения точности и скрытности определения координат и параметров движения НЦ.



Одним из технических устройств, позволяющих вести пассивное визирование и координатометрию НЦ с борта БПЛА, является подвижная гиросtabilизированная оптико-электронная система (ОЭС). Такая ОЭС может включать в свой состав телевизионный и тепловизионный модули формирования качественных изображений, а также выполнять автоматический захват и сопровождение НЦ с измерением азимута, угла места и геометрической дальности. Типовые малогабаритные двухосевые гиросtabilизированные ОЭС обладают высокими техническими показателями [5, 6]: диапазон углов разворота по азимуту –  $360^\circ$  без ограничения, по углу места – от  $+20^\circ$  до  $-100^\circ$ , скорость перемещения линии визирования (ЛВ) – до  $80^\circ/\text{сек}$ , точность стабилизации –  $200$  мкрад, вес – до  $1,5$  кг.

В работе [7] проведен анализ пассивных методов измерения дальности по данным ОЭС БПЛА, в [8, 9] показана возможность технической реализации способов определения дальности и координат НЦ с помощью ОЭС и цифровой карты высот рельефа местности, а в работах [10–12] показана алгоритмическая и методическая возможность реализации таких способов с помощью БПЛА самолетного типа. В настоящей статье речь пойдет о реализации такой возможности с помощью БПЛА типа мультикоптер, что требует учета особенностей пространственной ориентации и перемещения такого летательного аппарата.

В настоящее время активно используются и развиваются беспилотные летательные аппараты типа мультикоптер [13, 14]. Существуют различные схемы построения мультикоптеров: квадрокоптеры – 4 ротора, гексакоптеры – 6 роторов и октокоптеры – 8 роторов. Современные мультикоптеры обладают относительно малым весом, позволяют осуществлять полет до 60 минут на дальности до 12 километров, а также поднимать до 4-х килограммов полезной нагрузки. На практике наибольшее распространение получили квадрокоптеры, в силу своей относительной простоты в управлении и высокой стабильности в полете.

**Анализ динамики полета и управления квадрокоптера.** Движение квадрокоптера можно рассматривать с помощью двух систем координат (СК): нормальной земной СК  $O_0X_gY_gZ_g$  (рисунок 1а), и связанной с квадрокоптером  $OXYZ$  (рисунок 1б). Начало координат  $OXYZ$  совпадает с центром масс квадрокоптера, оси  $OX$ ,  $OZ$  направлены так, что ось  $OX$  пересекает оси пропеллеров 1 и 3, а ось  $OZ$  пересекает оси пропеллеров 2 и 4.

Квадрокоптер имеет шесть степеней свободы: три угла и три линейные координаты центра масс. Для описания движения квадрокоптера необходимо учитывать двенадцать параметров [15, 16]:  $\psi, \gamma, \vartheta$  – углы Эйлера;  $\vec{\omega} = (\omega_x \ \omega_y \ \omega_z)$  – вектор угловой скорости (проекции на оси СК  $OXYZ$ );  $\vec{r} = (x \ y \ z)$  – вектор положения центра масс квадрокоптера;  $\vec{\dot{r}} = (\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z})$  – вектор линейной скорости.

С учетом пренебрежения различными аэродинамическими эффектами, на квадрокоптер действует сила тяжести  $G = mg$ , силы  $F_i$ , возникающие в результате разницы давления воздуха сверху и снизу  $i$ -го пропеллера, и моменты  $M_i$  [16].

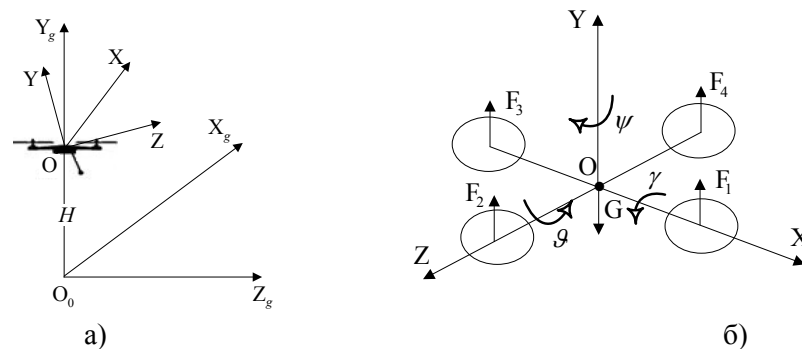


Рисунок 1 – Системы координат квадрокоптера: (а) – нормальная земная СК, (б) – связанная СК



Для стабильного перемещения квадрокоптера в воздухе, одна пара пропеллеров, расположенных друг против друга по диагонали, должна вращаться по часовой стрелке, а другая пара вращаться против часовой стрелки. Это необходимо для того, чтобы взаимокомпенсировать моменты, возникающие в результате вращения каждой пары пропеллеров в одну и другую стороны.

Для осуществления вертикального полета квадрокоптера относительно оси ОУ необходимо синхронное изменение частоты вращения пропеллеров создающее суммарную силу тяги  $\sum_i F_i$  преодолевающую силу тяжести  $G$ .

Для осуществления горизонтального полета квадрокоптера необходимо изменять скорости вращения пропеллеров находящихся друг против друга по диагонали, что создаст опрокидывающий момент относительно осей ОХ или ОZ (рисунок 2а, б).

Для осуществления вращения квадрокоптера вокруг вертикальной оси ОУ необходимо изменять скорости вращения пар пропеллеров, вращающихся в разные стороны (рисунок 2в, г).

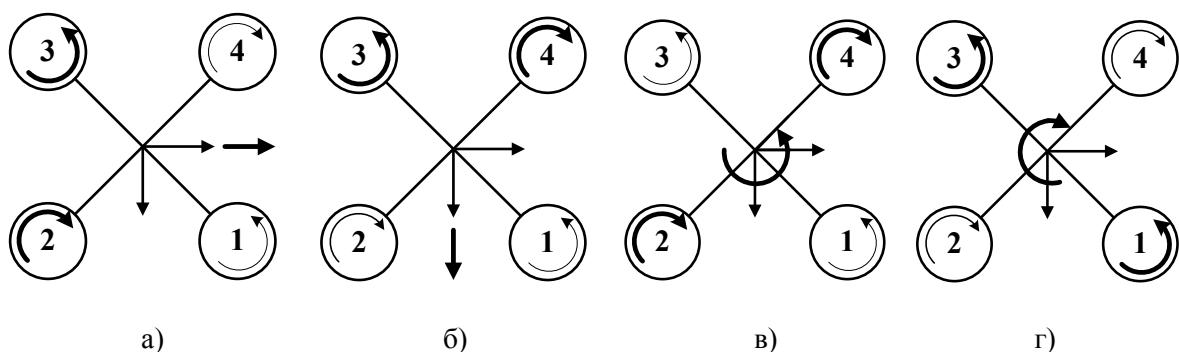


Рисунок 2 – Принцип полета квадрокоптера: (а), (б) – горизонтальный полет относительно осей ОХ и ОZ, (в), (г) – вращение относительно оси ОУ

Управление квадрокоптером может производиться оператором (пилотом) с наземной рабочей станции (базы) с помощью пульта управления [17]. Видеосигнал (последовательность изображений) с бортовой ОЭС передается на экран пульта управления или монитор автоматизированного рабочего места оператора. В свою очередь, оператор имеет возможность проложить маршрут полета БПЛА, обрабатывать поступающие цифровые телевизионные и тепловизионные изображения и применять алгоритмы захвата и сопровождения НЦ. Чаще всего, на пульте управления расположены два основных органа управления – это аналоговые стики. Один из них отвечает за высоту и повороты вокруг своей оси, а второй – за наклоны, продольное и поперечное перемещение БПЛА. Органы пульта управления повторяют основные движения квадрокоптера в воздухе:

- Pitch или тангаж – наклон и продольное движение вперед /назад;
- Roll или крен – наклон и поперечное движение в стороны (влево/вправо);
- Yaw или рыскание – повороты влево/вправо относительно вертикальной оси;
- Throttle или газ – отвечает за подъем/спуск дрона в воздух/на землю.

Для определения углов (крена, тангажа и рыскания) и параметров движения квадрокоптера используются акселерометры, магнитометры и датчики угловых скоростей. Для определения местоположения используются датчики спутниковой навигации GPS или ГЛОНАСС.

Также, квадрокоптер может быть оснащен компасом, высотомером, системой технического зрения (видеокамера и блок цифровой обработки изображений), лазерным дальномером и другими датчиками.



**Постановка задачи.** Для простоты дальнейших рассуждений ограничимся полетом БПЛА над гладкой водной поверхностью, тогда превышением/пренижением НЦ над проекцией БПЛА на водную поверхность можно бренебреч.

В процессе полета БПЛА обнаруживают заданную НЦ на последовательности видеокadres получаемых ОЭС [18]. Далее выполняют центрирование изображения НЦ на видеокadre, для этого управляют линией визирования (ЛВ) ОЭС таким образом, чтобы центр изображения цели (×) всегда был в центре видеокadre (+). На рисунке 3 представлен пример захвата, центрирования и сопровождения цели на видеокadre.

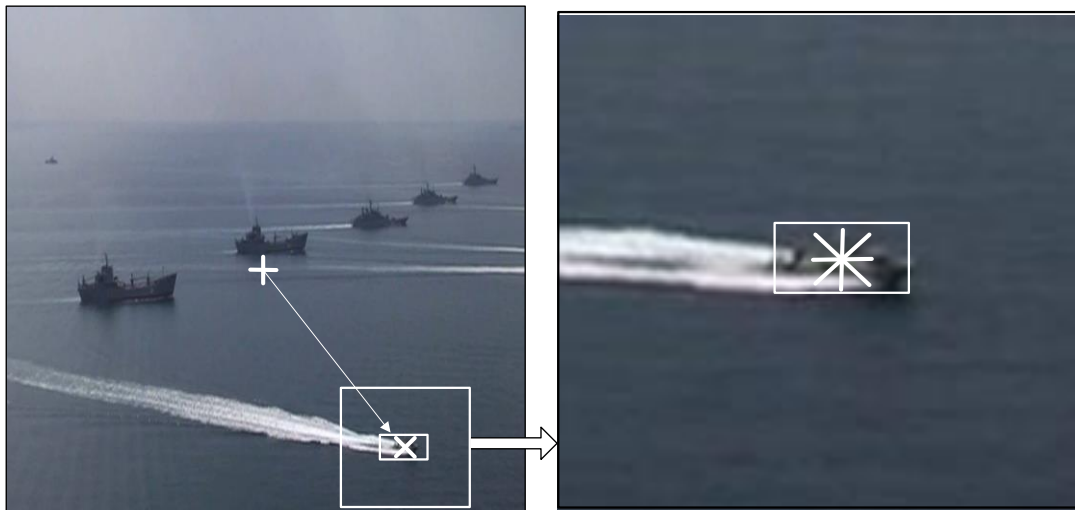


Рисунок 3 – Захват и сопровождение надводной цели

После выполнения захвата и в процессе сопровождения НЦ, в фиксированные моменты времени  $t_i$  измеряют угол места  $\beta_i$  и азимут  $\alpha_i$  НЦ, а также высоту полета БПЛА  $H_i$ .

Для пояснения на рисунке 4 представлена соответствующая геометрическая модель для частного случая, когда квадрокоптер в режиме зависания и неподвижен, а перемещается только НЦ и ЛВ ОЭС БПЛА.

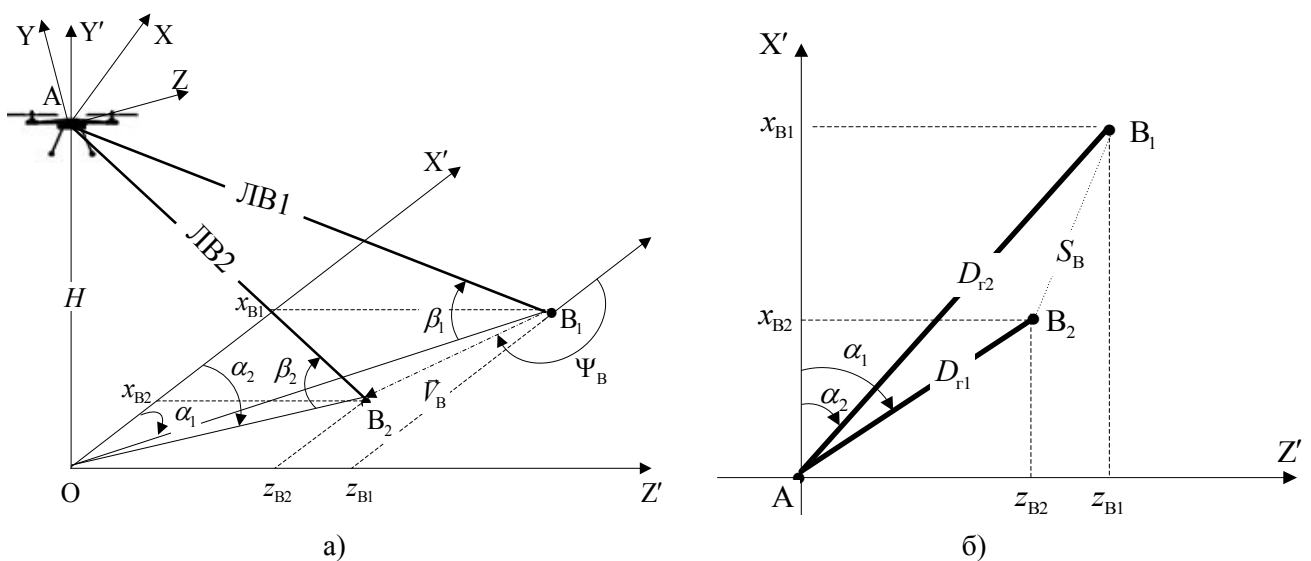


Рисунок 4 – Геометрическая модель определения координат НЦ: (а) – система координат  $OX'Y'Z'$ , (б) – плоскость  $X'AZ'$



Система координат  $AXYZ$  является связанной системой координат БПЛА. Система координат  $OX'Y'Z'$  является подобием нормальной земной системы координат: ось  $OY'$  направлена вверх по местной вертикали, ось  $OX'$  является проекцией оси  $OX$  на горизонтальную плоскость, ось  $OZ'$  перпендикулярна оси  $OX'$ . Условимся, что индексами 1 и 2 будем обозначать параметры получаемые в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ . Точки  $B_1$  и  $B_2$  определяют местоположение НЦ в СК  $OX'Y'Z'$ .

Тогда на основе полученных измерений можно рассчитать геометрическую горизонтальную дальность  $D_r$ , координаты  $x_{B1}, y_{B1}, x_{B2}, y_{B2}$ , скорость  $V_B$  и направление  $\Psi_B$  движения НЦ относительно БПЛА [1, 2].

Однако, в процессе полета и выполнения задач координатометрии НЦ, квадрокоптер может маневрировать в соответствии со своими техническими характеристиками (см. рис. 2), а также может потребоваться определение координат НЦ относительно базы, при этом база, также будет перемещаться относительно БПЛА и НЦ. Тогда для учета таких особенностей требуется разработка соответствующей геометрической модели.

На рисунке 5 представлена типовая ориентация горизонтальной плоскости  $X'AZ'$  относительно СК базы  $X''CZ''$  и СК  $X_gCZ_g$ .

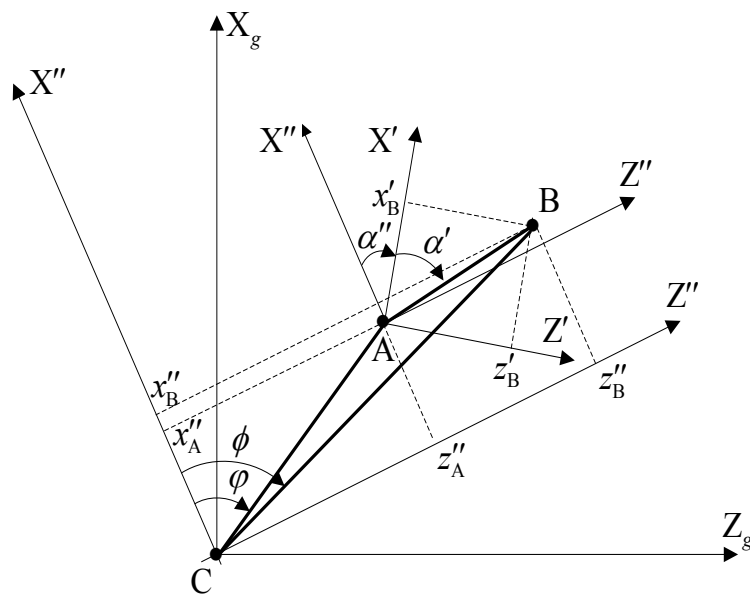


Рисунок 5 – Взаимная ориентация СК  $X'AZ'$ ,  $X''CZ''$  и  $X_gCZ_g$

Точка С характеризует местоположение подвижной базы, например, корабля с которого был запущен БПЛА. Будем считать перемещение базы прямолинейным. Считается, что предварительно, перед полетом БПЛА осуществлена синхронизация осей курса базы (ось  $CX''$ ) и БПЛА (ось  $AX'$ ), а также жесткая привязка СК ОЭС к СК  $AXYZ$  БПЛА.

Исходя из вышесказанного, в отдельные моменты времени  $t_i$  нам известны углы  $\alpha'_i, \alpha''_i$ ,  $\phi_i$  и горизонтальные дальности  $D_{rAB}, D_{rCA}$ .

Таким образом, необходимо определить координаты и параметры движения НЦ относительно БПЛА и подвижной базы с учетом разнородных перемещений БПЛА и прямолинейного перемещения базы.

Целью работы является разработка алгоритмов определения координат, скорости и направления движения НЦ по данным ОЭС БПЛА типа «квадрокоптер» в условиях взаимных перемещений БПЛА, ОЭС, НЦ и базы.



**Алгоритмы определения координат и параметров движения надводных целей.** Рассмотрим алгоритм определения координат и параметров движения НЦ по измерениям в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  при поступательном перемещении квадрокоптера относительно осей  $OX'$  и  $OZ'$ . На рисунке 6 показана геометрическая модель такого перемещения.

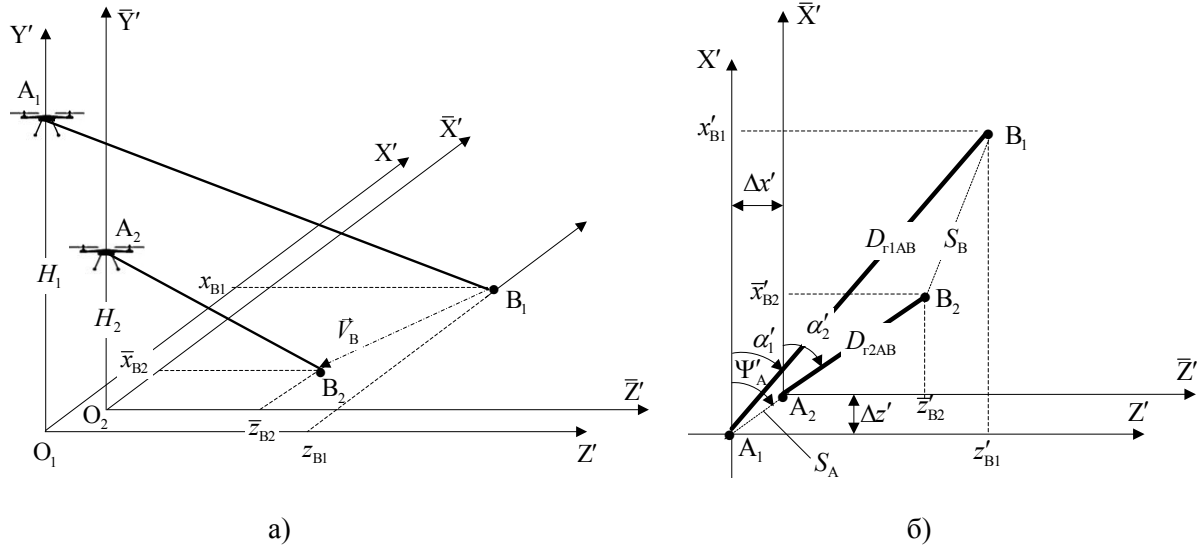


Рисунок 6 – Геометрическая модель поступательного перемещения квадрокоптера относительно осей  $OX'$  и  $OZ'$ :  
(а) – система координат  $OX'Y'Z'$ , (б) – плоскость  $X'AZ'$

Тогда относительные координаты НЦ определяются следующим образом:

$$x'_{B1} = D_{r1AB} \cos \alpha'_1, \quad z'_{B1} = D_{r1AB} \sin \alpha'_1, \quad (1)$$

$$x'_{B2} = \bar{x}_{B2} + \Delta x' = D_{r2AB} \cos \alpha'_2 + \Delta x', \quad z'_{B2} = \bar{z}_{B2} + \Delta z' = D_{r2AB} \sin \alpha'_2 + \Delta z', \quad (2)$$

$$\Delta x' = S_A \sin \Psi'_A, \quad \Delta z' = S_A \cos \Psi'_A, \quad (3)$$

$$\Psi'_A = \begin{cases} 0 & \text{при } (x''_{A1} \leq x''_{A2} \wedge z''_{A1} = z''_{A2}), \\ \pi & \text{при } (x''_{A1} > x''_{A2} \wedge z''_{A1} = z''_{A2}), \\ \frac{\pi}{2} & \text{при } (x''_{A1} = x''_{A2} \wedge z''_{A1} < z''_{A2}), \\ \frac{3\pi}{2} & \text{при } (x''_{A1} = x''_{A2} \wedge z''_{A1} > z''_{A2}), \\ \left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) & \text{при } (x''_{A1} < x''_{A2} \wedge z''_{A1} < z''_{A2}), \\ \left(\frac{\pi}{2} + \delta\right) & \text{при } (x''_{A1} > x''_{A2} \wedge z''_{A1} < z''_{A2}), \\ \left(\frac{3\pi}{2} - \delta\right) & \text{при } (x''_{A1} > x''_{A2} \wedge z''_{A1} > z''_{A2}), \\ \left(\frac{3\pi}{2} + \delta\right) & \text{при } (x''_{A1} < x''_{A2} \wedge z''_{A1} > z''_{A2}), \end{cases} \quad (4)$$



где  $x''_{A1} = D_{r1CA} \cos \varphi_1$ ,  $z''_{A1} = D_{r1CA} \sin \varphi_1$ ,  $x''_{A2} = D_{r2CA} \cos \varphi_2 + S_C$ ,  $z''_{A1} = D_{r2CA} \sin \varphi_2$  – координаты БПЛА относительно базы;

$S_C$  – путь пройденный базой за время  $\Delta t = t_2 - t_1$ ;

$S_A$  – земной путь БПЛА за время  $\Delta t$ ;  $\delta = \arctg \left( \frac{|x''_{A2} - x''_{A1}|}{|z''_{A2} - z''_{A1}|} \right)$ .

В случае вращения квадрокоптера относительно оси  $OY'$  необходимо учитывать угол поворота  $\psi$  за время  $\Delta t$ . На рисунке 7 показана соответствующая геометрическая модель такого перемещения.

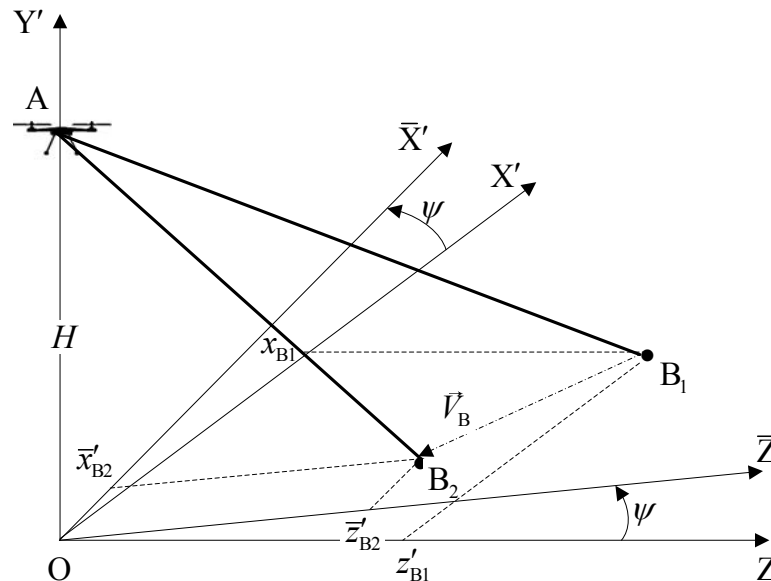


Рисунок 7 – Геометрическая модель вращательного перемещения квадрокоптера относительно оси  $OY'$

Тогда координаты НЦ относительно БПЛА в момент времени  $t_2$  с учетом перемещений БПЛА по осям  $OX'$ ,  $OZ'$  и вращения относительно оси  $OY'$  определяются следующим образом:

$$x'_{B2} = \Delta x' + D_{r2AB} \sin \alpha'_2 \sin \psi - D_{r2AB} \cos \alpha'_2 \cos \psi, \quad (5)$$

$$z'_{B2} = \Delta z' + D_{r2AB} \sin \alpha'_2 \cos \psi + D_{r2AB} \cos \alpha'_2 \sin \psi. \quad (6)$$

Координаты НЦ относительно базы:

$$x''_B = x''_A + \Delta x_{AB}, \quad z''_B = z''_A + \Delta z_{AB}, \quad (7)$$

$$\Delta x_{AB} = \cos(\alpha' + \alpha'') D_{rAB}, \quad \Delta z_{AB} = \sin(\alpha' + \alpha'') D_{rAB}. \quad (8)$$

Отсюда

$$x''_B = x''_A + D_{rAB} \cos \alpha' \cos \alpha'' - D_{rAB} \sin \alpha' \sin \alpha'', \quad (9)$$

$$z''_B = z''_A + D_{rAB} \sin \alpha' \cos \alpha'' + D_{rAB} \cos \alpha' \sin \alpha''. \quad (10)$$



Дальность НЦ относительно базы:

$$D_{rCB} = \sqrt{x_B''^2 + z_B''^2}. \quad (11)$$

Расстояние пройденное НЦ за время  $\Delta t$ :

$$S_B = \sqrt{D_{r1CB}^2 + D_{r2CB}^2 - 2D_{r1CB}D_{r2CB} \cos(\phi_2 - \phi_1)}, \quad (12)$$

где  $\phi = \text{arctg} \left( \frac{x_B''}{z_B''} \right)$ .

Скорость НЦ:

$$V_B = \frac{S_B}{\Delta t}. \quad (13)$$

Курс НЦ относительно базы определяется по координатам  $x_{B1}'', x_{B2}'', z_{B1}'', z_{B2}''$  в соответствии с выражением (4).

Географические координаты НЦ можно получить следующим образом:

$$\varphi_B = \varphi_{A(C)} + \frac{D_{rA(C)B} \cos(\Gamma)}{R(\varphi_{A(C)})}, \quad \lambda_B = \lambda_{A(C)} + \frac{D_{rA(C)B} \sin(\Gamma)}{R(\varphi_{A(C)}) \cos(\varphi_{A(C)})}, \quad (14)$$

где  $\varphi_{A(C)}, \lambda_{A(C)}$  – широта и долгота точки А или С;

$\Gamma$  – угол между географическим меридианом и направлением на точку В [8];

$R(\varphi_{A(C)}) = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2(\varphi_{A(C)}))^{\frac{3}{2}}}$  – радиус кривизны первого вертикала;

$a, e$  – известные значения большой полуоси и эксцентриситета референц-эллипсоида.

**Выводы.** Таким образом, разработанные алгоритмы позволяют осуществлять пассивную координатометрию НЦ с помощью БПЛА типа «квадрокоптер» в условиях взаимных перемещений БПЛА, ОЭС, НЦ и базы. Для применения разработанных алгоритмов в условиях суши необходима коррекция превышения/пренижения НЦ над проекцией БПЛА на рельеф местности. Это может быть выполнено по данным цифровой карты высот рельефа местности. Также, предложенные алгоритмы не ограничиваются применением только для мультикоптеров, но и могут быть распространены на БПЛА вертолетного типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства / Г.Б. Белоцерковский. М.: Советское радио, 1975. 336 с.
2. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / под ред. Л.А. Школьного. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 531 с.
3. Авиационные системы радиоуправления. Радиоэлектронные системы самонаведения / под ред. А.И. Канащенкова, В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2003. 389 с.
4. Дрогалин В.В., Дудник П.И., Канащенков А.И. и др. Определение координат и параметров движения источников радиоизлучения по угломерным данным в однопозиционных





бортовых радиолокационных системах // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2002. № 3. С. 64–93.

5. Гиросtabilизированные тепловизионные системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.m.pergam.ru/catalog/cctv/gyrostabilised/> (дата обращения 21.10.2019 г.).

6. Гиросtabilизированные подвесы [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.general-optics.ru/catalog/?SECTION\\_ID=15](http://www.general-optics.ru/catalog/?SECTION_ID=15). (дата обращения 21.10.2019 г.).

7. Бурага А.В., Костюков В.М. Сравнительный анализ пассивных методов измерения дальности для малого беспилотного летательного аппарата // Электронный журнал «Труды МАИ». 2012. № 53.

8. Пат. 2148795 Российская Федерация, МПК G01S13/18. Способ определения дальности / Григорьев В.Г., Григорьев Д.В., Григорьев В.В., заявитель и патентообладатель Григорьев В.Г., Григорьев Д.В., Григорьев В.В.; заявл. 22.02.1998; опубл. 10.07.1999.

9. Пат. 2148795 Российская Федерация, МПК G01S13/06. Способ определения координат наземного объекта / Григорьев В.Г., Григорьев Д.В., Григорьев В.В., заявитель и патентообладатель Григорьев В.Г., Григорьев Д.В., Григорьев В.В.; заявл. 28.03.2000; опубл. 20.05.2002.

10. Шипко В.В., Ханов А.С., Шаронов И.Е. Способ пассивного определения координат и параметров движения наземных объектов оптико-электронной системой беспилотного летательного аппарата // Вестник ВВА. 2018. № 3 (33). С. 181–185.

11. Шипко В.В., Рубинов В.И., Ханов А.С., Шаронов И.Е. Алгоритм определения координат и параметров движения наземных объектов // Вестник Воронежского государственного технологического университета. 2018. Т. 14. № 1. С. 43–48.

12. Шипко В.В., Шаронов И.Е., Ханов А.С. Методика коррекции определения дальности до наземной цели с помощью бортовой оптико-электронной системы технического зрения летательного аппарата, на основе использования цифровой карты высот рельефа местности // Сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения», 14–15 ноября 2018 г. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2019. С. 209–217.

13. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / под ред. В.С. Фетисова. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.

14. Беспилотные летательные аппараты: справ. пособие / под общ. ред. С.А. Попова. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2015. 619 с.

15. Галустян Н.К. Децентрализованное управление группой квадрокоптеров: дис. канд. техн. наук. Москва, 2016. 125 с.

16. Вавилов Ю.А. Системы автоматического управления полетом. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2009. 412 с.

17. Как управлять квадрокоптером. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.dronnews.ru/o-dronah/kak-upravlyat-kvadrokopterom.html> (дата обращения 21.10.2019)

18. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.

## REFERENCES

1. Belocerkovskij G.V. Osnovy radiolokacii i radiolokacionnye ustrojstva / G.V. Belocerkovskij. М.: Sovetskoe radio, 1975. 336 p.

2. Radiolokacionnye sistemy vozdušnoj razvedki, deshifrirovaniye radiolokacionnyh izobrazhenij / pod red. L.A. Shkol'nogo. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 531 p.

3. Aviacionnye sistemy radioupravleniya. Radio`elektronnye sistemy samonavedeniya / pod red. A.I. Kanaschenkova, V.I. Merkulova. М.: Radiotekhnika, 2003. 389 p.



4. Drogalin V.V., Dudnik P.I., Kanaschenkov A.I. i dr. Opredelenie koordinat i parametrov dvizheniya istochnikov radioizlucheniya po uglomernym dannym v odnopozitsionnyh bortovyh radiolokatsionnyh sistemah // Zarubezhnaya radio`elektronika. Uspehi sovremennoj radio`elektroniki. 2002. № 3. pp. 64–93.
5. Girostabilizirovannye teplovizionnyye sistemy [`Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.m.pergam.ru/catalog/cctv/gyrostabilised/>. (data obrascheniya 21.10.2019 g.).
6. Girostabilizirovannye podvesy [`Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.general-optics.ru/catalog/?SECTION\\_ID=15](http://www.general-optics.ru/catalog/?SECTION_ID=15). (data obrascheniya 21.10.2019 g.).
7. Buraga A.V., Kostyukov V.M. Sravnitel'nyj analiz passivnyh metodov izmereniya dal'nosti dlya malogo bespilotnogo letatel'nogo apparata // `Elektronnyj zhurnal «Trudy MAI». 2012. № 53.
8. Pat. 2148795 Rossijskaya Federaciya, MPK G01S13/18. Sposob opredeleniya dal'nosti / Grigor'ev V.G., Grigor'ev D.V., Grigor'ev V.V., zayavitel' i patentoobladatel' Grigor'ev V.G., Grigor'ev D.V., Grigor'ev V.V.; zayavl. 22.02.1998; opubl. 10.07.1999.
9. Pat. 2148795 Rossijskaya Federaciya, MPK G01S13/06. Sposob opredeleniya koordinat nazemnogo ob`ekta / Grigor'ev V.G., Grigor'ev D.V., Grigor'ev V.V., zayavitel' i patentoobladatel' Grigor'ev V.G., Grigor'ev D.V., Grigor'ev V.V.; zayavl. 28.03.2000; opubl. 20.05.2002.
10. Shipko V.V., Hanov A.S., Sharonov I.E. Sposob passivnogo opredeleniya koordinat i parametrov dvizheniya nazemnyh ob`ektov optiko-`elektronnoj sistemoj bespilotnogo letatel'nogo apparata // Vestnik VVA. 2018. № 3 (33). pp. 181–185.
11. Shipko V.V., Rubinov V.I., Hanov A.S., Sharonov I.E. Algoritm opredeleniya koordinat i parametrov dvizheniya nazemnyh ob`ektov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. 2018. T. 14. № 1. pp. 43–48.
12. Shipko V.V., Sharonov I.E., Hanov A.S. Metodika korrekcii opredeleniya dal'nosti do nazemnoj celi s pomosh'yu bortovoj optiko-`elektronnoj sistemy tehničeskogo zreniya letatel'nogo apparata, na osnove ispol'zovaniya cifrovoj karty vysot rel'efa mestnosti // Sbornik nauchnyh statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii «Akademicheskie Zhukovskie chteniya», 14-15 noyabrya 2018 g. Voronezh: VUNC VVS «VVA». 2019. pp. 209–217.
13. Bespilotnaya aviaciya: terminologiya, klassifikaciya, sovremennoe sostoyanie / pod red. V.S. Fetisova. Ufa: FOTON, 2014. 217 p.
14. Bespilotnye letatel'nye apparaty: sprav. posobie / pod obsch. red. S.A. Popova. Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskij centr «Nauchnaya kniga», 2015. 619 p.
15. Galustyan N.K. Decentralizovannoe upravlenie gruppoy kvadropteroj: dis. kand. tehn. nauk. Moskva, 2016. 125 p.
16. Vavilov Yu.A. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya poletom. M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo i Yu.A. Gagarina, 2009. 412 p.
17. Kak upravlyat' kvadropteroj. [`Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://www.dronnews.ru/o-dronah/kak-upravlyat-kvadropteroj.html> (data obrascheniya 21.10.2019).
18. Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob`ektov. Obrabotka izobrazhenij i upravlenie / B.A. Alpatov, P.V. Babayan, O.E. Balashov, A.I. Stepashkin. M.: Radiotekhnika, 2008. 176 p.

© Шипко В.В., 2019

Шипко Владимир Вацлавович, кандидат технических наук, старший преподаватель 92 кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, [shipko.v@bk.ru](mailto:shipko.v@bk.ru).