

7. Antoniou A. *Digital signal processing*. – McGraw-Hill, 2016.
8. Darabkh K. A., Albtoosh W. Y., Jafar I. F. Improved clustering algorithms for target tracking in wireless sensor networks. *The Journal of Supercomputing*, 2017, vol. 73, no. 5, pp. 1952–1977.
9. Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G. *Pattern Classification and Scene Analysis. Part 1: Pattern Classification*. Chichester, Wiley, 2000.
10. Han J. et al. Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2014, vol. 60, no. 2, pp. 198–202.
11. Harmuth H. F. Antennas and waveguides for nonsinusoidal waves. *Advances in Electronics and Electron Physics Supplement*, 1984, vol. 1.
12. Harmuth H. F. *Transmission of information by orthogonal functions*. Springer Science & Business Media, 2012.
13. Ho J. W., Wright M., Das S. K. Fast detection of replica node attacks in mobile sensor networks using sequential analysis. *INFOCOM 2009*, IEEE Publ., 2009, pp. 1773–1781.
14. Jesus G., Casimiro A., Oliveira A. A survey on data quality for dependable monitoring in wireless sensor networks. *Sensors*, 2010, vol. 17, no. 9, p. 2010.
15. Khan W. Z., Aalsalem M. Y., Saad M. N. B. M., Xiang Y. Detection and mitigation of node replication attacks in wireless sensor networks: a survey. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013, vol. 9, no. 5, p. 149023.
16. Roberto Sandre. *Thread and ZigBee for home and building automation*. Texas, Texas Instruments, 2018.

УДК 004.932.72

РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ МЕТОДОВ УСТАНОВКИ ВИДЕОКАМЕР СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ КОНЕЧНОГО УЧАСТКА ТРАЕКТОРИИ ОБЪЕКТА НАБЛЮДЕНИЯ

Статья поступила в редакцию 10.11.2018, в окончательном варианте 20.11.2018.

Волотов Евгений Михайлович, филиал «Взлет» Московского авиационного института, 416501, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5, кандидат технических наук, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Нестеров Сергей Васильевич, филиал «Взлет» Московского авиационного института, 416501, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5, кандидат технических наук

Митрофанов Игорь Викторович, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7, кандидат технических наук

Кокорина Светлана Борисовна, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7.

соискатель ученой степени кандидата технических наук, инженер

Митрофанов Евгений Игоревич, ЗАО «Технологический Парк Космонавтики «Линкос», 142172, Российская Федерация, г. Москва, г. Щербинка, ул. Дорожная, 5, соискатель ученой степени кандидата технических наук, инженер

Существует множество методов получения количественных параметров регистрируемых процессов для движущихся объектов: угломерный, угломерно-дальномерный, дальномерный и др. Наиболее широкое применение получил угломерный метод, который основан на синхронных измерениях угловых направлений на объект наблюдения по азимуту и углу места с нескольких (не менее чем с двух) видеокамер. Однако в этом случае траекторные параметры объекта наблюдения будут определены с некоторыми ошибками. Задача состоит в том, чтобы установить видеокамеры для отслеживания движения объекта наблюдения таким образом, чтобы минимизировать ошибку определения его местоположения при использовании угломерного метода определения координат. Предложенные в данной статье типовые методы позволяют получать траекторные параметры объекта наблюдения с минимальной ошибкой и могут быть эффективно использованы в процессах испытаний авиационной техники и вооружений. В результате разработанные (предложенные) типовые методы установки видеокамер системы регистрации конечного участка траектории объекта наблюдения позволяют более рационально организовать процесс регистрации, усовершенствовать информационное обеспечение и сократить сроки испытаний.

Ключевые слова: объект наблюдения, система регистрации, траекторные параметры, видеокамеры общего назначения, угломерный метод, погрешность определения прямоугольных координат, информационные технологии

Графическая аннотация (Graphical annotation)



**DEVELOPMENT OF STANDARD METHODS INSTALLATION
FOR THE VIDEO CAMERAS OF THE SYSTEM INTENDED
FOR REGISTRATION OF THE FINAL SITE OF OBJECT TRAJECTORY**

The article was received by editorial board on 10.11.2018, in the final version – 20.11.2018.

Volotov Evgenij M., branch «Vzlet» of Moscow Aviation Institute, 5 Dobrolyubov St., Akhtubinsk, Astrakhan region, 416501, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering), e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Nesterov Sergey V., branch «Vzlet» of Moscow Aviation Institute, 5 Dobrolyubov St., Akhtubinsk, Astrakhan region, 416501, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering)

Mitrofanov Igor V., military unit 15650, 7 Akhtubinsk, Astrakhan region, 416507, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering)

Kokorina Svetlana B., military unit 15650, 7 Akhtubinsk, Astrakhan region, 416507, Russian Federation,
applicant of an academic degree of Candidate of Technical Sciences, engineer

Mitrofanov Evgenij I., CSC «Technological Park of Astronautics «Linkos», 5 Dorozhnaya St., Shcherbinka, Moscow, 142172, Russian Federation,
applicant of an academic degree of Candidate of Technical Sciences, engineer

There are many methods of obtaining quantitative parameters of the recorded processes: rho-rho, rho-theta, theta-theta, and others. The most widely used method is rho-rho method, which is based on synchronous measurements of angular directions to the test object in azimuth and elevation from several (at least two) video cameras. But even in this case, the trajectory parameters will be determined with some error. The task is to install video cameras in such a way as to minimize the error of determining the location of the object when using rho-rho method of position finding. The proposed standard methods make it possible to obtain trajectory parameters of the recorded object with a minimum error and can be used in the testing of aeronautical equipment and aircraft weapon. Standard methods of installation of the final trajectory recording system video cameras allow to organize more rational process of object recording, to improve information support and to reduce terms of tests.

Keywords: subject of observation, system of registration, trajectory parameters, video cameras of general purpose, goniometric method, error of determination of rectangular coordinates, information technologies

Одним из приоритетных направлений повышения качества летных испытаний авиационной техники и вооружения (АТиВ) является совершенствование информационного обеспечения испытаний. В последние годы быстрый прогресс боевой авиационной техники обусловил тенденцию к всестороннему сокращению сроков ее испытаний при сохранении и увеличении качества оценок как за счет создания и внедрения высокоэффективных методов испытаний, так и за счет более рациональной организации испытательных процессов [1, 8, 18, 19].

При любых летных испытаниях всех видов АТиВ основное внимание уделяется первичному получению информации от объекта наблюдения (ОбН) и ее последующей обработке с целью объективной оценки.

Для оценки летно-технических характеристик ОбН основополагающими являются внешнетраекторные измерения [12]. Они занимают особое место в процессе этих испытаний и используются для оценки практически всех авиационных комплексов. Большой интерес представляют эксперименты, в которых определяются параметры конечного участка траектории движения ОбН.

Единственными средствами измерений по определению траектории движения ОбН на конечных участках траекторий, пригодными для выполнения всех стоящих при испытаниях задач, являются оптические средства траекторных измерений. К ним относится специальная кинофотоаппаратура [2], характеристики которой приведены в таблице.

Таблица – Основные специальные кино- и фотоаппараты, их характеристики

Тип кино- или фотоаппарата	Фокусное расстояние объектива, мм	Угол поля зрения, град	Ширина пленки, мм	Размер кадра фильма, мм	Частота съемки, кадр/с	Запас пленки (метров)
СКС-1М	35, 50, 135, 210	–	16	7,5×10,4	150–4000	30
РКС «Гладиолус»	18, 28, 40, 58, 150, 300,	32×43; 23×31; 12×17; 9×12; 3×4	35	16×22	24, 48, 96, 144, 192, 216–240	60 (120)
РКС «Гладиолус-2»	28, 40, 75, 100, 150, 500, 1000	–	35	16×22	250, 750, 1500, 3000	120
РКС «Тюльпан»	35, 50, 75, 100, 150	–	16	8×8	50; 100; 200; 400	30
РКС «Подснежник»	28, 56, 100, 200, 300	44×83; 23×48; 13×28; 6×14; 4×9	70	23×50	24; 48; 96; 120	120 (300)
ССК «Пентоцет»	45, 360	–	35	18×22; 4,5×4	40000	50
РФК-5	28, 50	35×46	35	18×24	1; 4; 10	60
«Каштан»	50, 100, 150, 200		35	16×22	25, 50, 75, 100, 120	60 (90)
II РКС «Кукуруза»	18, 35, 75, 100, 200		35	16×22	24, 48, 96	60
АКС-2	35, 50, 135	34 54×25 42; 24 50×18 10; 9 20×6 47	35	16×22	24, 48	60

Применение такой аппаратуры в настоящее время связано с определенными трудностями:

- отсутствие черно-белой пленки и готовых материалов (комплектов) для ее фотохимической обработки;
- необходимость наличия и обслуживания устройств для фотохимической обработки экспонированной пленки, компараторной обработки проявленной пленки;
- наличие дополнительных этапов в технологической линии обработки материалов регистрации и измерений;
- необходимость обучения и подготовки квалифицированного персонала для проведения указанных видов работ.

Кроме того, согласно требованиям к обеспечению безопасности проведения испытаний, необходимо дистанционное включение аппаратов для начала процесса регистрации. При этом для повышения вероятности успешного осуществления регистрации результатов эксперимента необходимо знать время отцепки или схода ОбН; время его подхода к цели. В зависимости от скорости съемки и из-за ограниченного запаса пленки время регистрации обычно составляет от 30 секунд до 1 минуты.

Поэтому при проведении экспериментов по определению параметров на конечном участке траектории ОбН настоятельно требуется применение новых мобильных оптических систем измерений, ко-

торы должны оперативно разворачиваться в заданном районе, иметь автоматический режим подготовки к регистрации и небольшое количество обслуживающего персонала. К таким системам относятся следующие: мобильная оптико-электронная станция (МОЭС) «Вереск» и мобильный видеорегирующий комплекс (МВРК) «Кратность».

Однако их доставка на необорудованные такими средствами боевые поля временных полигонов на расстоянии в сотни километров, в условиях бездорожья, может привести к сокращению сроков эксплуатации указанного оборудования. Также возникают проблемы при организации и выполнении регистрации траекторий ОБН данными штатными средствами. Они, как правило, устанавливаются на капитальных сооружениях, к ним прокладываются линии передачи сигналов системы единого времени. Вместе с тем существуют такие эксперименты, при которых невозможно размещение и использование МОЭС «Вереск» и МВРК «Кратность». Это, например, проведение испытаний в условиях горной или труднодоступной местности, а также при определенных режимах работы.

В настоящее время для информационного обеспечения летных испытаний образцов АТнВ, в таких экспериментах, происходит широкое внедрение систем регистрации на базе цифровых видеокамер общего назначения [7, 10, 13, 16, 20]. Указанные системы строятся по принципу средств регистрации патрульного типа. Они устанавливаются в заранее намеченных точках и неподвижно направляются в определенный сектор пространства (на реперную точку). Выбор оборудования определяется требуемыми точностными характеристиками системы и особенностями испытываемых объектов. В зависимости от сложности испытаний и требуемой точности измерений определяется количество видеокамер в системе.

Несомненное преимущество рассматриваемой системы видеорегистрации состоит в том, что при ее создании используется не дорогостоящая, специализированная и громоздкая, а гораздо более дешевая и компактная бытовая оптическая техника (вес двух видеокамер – до 10 кг, вспомогательного оборудования – 40–50 кг). Это позволяет осуществлять доставку аппаратуры к местам проведения испытаний автомобильным и авиационным транспортом. К «плюсам» системы относится возможность просмотра и предварительного анализа полученной информации непосредственно на месте проведения работ; регистрация эксперимента и запись данных непосредственно на цифровые накопители информации (тем самым любые фотохимические процессы заранее исключаются). Поэтому задача регистрации, обработки и анализа информации конечного участка траектории ОБН, полученной с помощью такой системы, является весьма актуальной.

При этом необходимо рассмотреть следующее.

1. Вопрос регистрации, включающий установку видеокамер, определение условий съемки, синхронизацию работы видеокамер.

2. Вопрос обработки информации, полученной с помощью траекторной измерительной системы на базе цифровых видеокамер общего назначения. Однако существенным недостатком таких видеокамер является то, что нет данных о линейных размерах используемой в них матрицы; отсутствуют сведения о размерах пикселя и их количестве в матрице; не нормировано значение фокусного расстояния объектива (у объективов-трансфокаторов известны только начальные и конечные значения фокусного расстояния). Перечисленные параметры разработчиком указываются приближенно или не указываются вообще. Кроме того, в рассматриваемых видеокамерах отсутствуют датчики положения оптической оси, а также координаты положения маркера оптической оси на матрице. Поэтому настоятельно требуется переработка существующих традиционных методов и алгоритмов, создание новых методов, алгоритмов и методик обработки видеоизображений, позволяющих обойти эти недостатки. Это реализовано в [4, 5].

3. Вопрос анализа, включающий метрологическую оценку методов обработки и полученных с их помощью результатов [3, 6, 9, 17]. Он заключается в создании модели общей погрешности и оценке траекторных параметров, полученных по результатам обработки информации, зарегистрированной с помощью системы видеорегистрации на базе цифровых видеокамер общего назначения.

Необходимо создать модель общей погрешности, которая позволит оценить точностные характеристики получаемых траекторных параметров ОБН; определить те летные эксперименты, в которых обеспечивается требуемая точность получаемых результатов обработки, зависящая от следующих факторов:

- погрешности геодезической привязки видеокамер и ориентиров [14];
- погрешности временной привязки обрабатываемых кадров видеокамер к системе единого времени;
- погрешности изображения в оптической системе видеокамеры (абберации объектива);
- погрешности, вносимые оператором при обработке [15];
- методической погрешности [11].

Далее подробно рассмотрим вопросы, связанные с установкой видеокамер.

При определении мест установки средств регистрации (видеокамер) необходимо соблюсти ряд условий.

* Такие средства не могут быть установлены от цели на расстоянии, меньшем, чем зона непосредственной опасности;

* Средства регистрации должны быть установлены от цели на расстоянии, позволяющем гарантированно наблюдать и регистрировать испытываемый ОБН, его составные части и их поведение. Однако при этом необходимо учитывать, что чем меньше это расстояние, тем меньшее влияние оказывает атмосфера на процесс регистрации;

* В каждом конкретном случае определяются требования к размерам области регистрируемого пространства. Исходя из этих требований определяются величины углов поля зрения средств регистрации. Однако необходимо учитывать, что при больших углах поля зрения довольно сложно (а порой и невозможно) рассмотреть детали регистрируемого процесса.

Основной задачей рассматриваемой измерительной системы на базе цифровых видеокамер общего назначения является получение не столько качественных, сколько количественных оценок процессов, происходящих с ОБН. Для этого существует множество методов получения количественных параметров регистрируемых процессов: угломерный, угломерно-дальномерный, дальномерный и др. Наиболее широкое применение получил угломерный метод. Он основан на синхронных измерениях угловых направлений на ОБН по азимуту и углу места с нескольких (не менее чем с двух) видеокамер. При этом для определения параметров траектории ОБН может использоваться минимально необходимый или минимально избыточный объем полученной информации. В случае использования минимально необходимого объема информации для определения местоположения ОБН используются два азимута и один угол места или наоборот – два угла места и один азимут. Однако в этом случае (при использовании двух азимутов и угла места) метод имеет низкую точность вблизи вертикальной базовой линии из-за того, что азимуты с видеокамер отличаются на величину, близкую к 180 градусам. Вблизи же горизонтальной базовой линии нецелесообразно использовать для определения местоположения ОБН два угла места и азимут, поскольку углы места будут практически равными. Для устранения указанных недостатков необходимо применять угломерный метод с использованием минимально избыточного объема полученной информации, т.е. с использованием двух азимутов и двух углов места. Однако даже и в этом случае траекторные параметры будут определены с некоторой ошибкой. Задача состоит в том, чтобы установить видеокамеры таким образом, чтобы минимизировать ошибку определения местоположения ОБН при использовании угломерного метода определения координат объекта.

Метод определения прямоугольных координат ОБН (рис. 1) использует следующие расчетные соотношения:

$$X = D_1 \cos \omega_1 \cos \alpha_1 ; \tag{1}$$

$$Y = D_1 \cos \omega_1 ; \tag{2}$$

$$Z = D_1 \cos \omega_1 \sin \alpha_1 , \tag{3}$$

где D_1 – дальность до ОБН; α_1 – азимут ОБН; ω_1 – угол места ОБН.

С учетом взаимной некоррелированности ошибок измерений средние квадратические отклонения ошибок вторичных параметров определяются по формуле:

$$\sigma_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial \zeta_i} \right)^2 \cdot \sigma_{\zeta_i}^2} , \tag{4}$$

где F – функция, реализующая рассматриваемый метод; ζ_i – измеряемый параметр; σ_{ζ_i} – средняя квадратическая ошибка каждого измеряемого параметра.

Тогда погрешность в определении прямоугольных координат ОБН:

$$\sigma_X = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial D_1} \sigma_{D_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha_1} \sigma_{\alpha_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \omega_1} \sigma_{\omega_1} \right)^2} ; \tag{5}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial D_1} \sigma_{D_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \omega_1} \sigma_{\omega_1} \right)^2} ; \tag{6}$$

$$\sigma_Z = \left[\left(\frac{\partial Z}{\partial D_1} \sigma_{D_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \alpha_1} \sigma_{\alpha_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \omega_1} \sigma_{\omega_1} \right)^2 \right]^{1/2} . \tag{7}$$

Из анализа формул (5–7) следует, что от места установки видеокамер зависит только σ_{D_1} , которое определяется следующим образом:

$$\sigma_{D_1} = \left[\left(\frac{\partial D_1}{\partial B} \sigma_B \right)^2 + \left(\frac{\partial D_1}{\partial \mu_1} \sigma_{\mu_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial D_1}{\partial \mu_2} \sigma_{\mu_2} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (8)$$

где μ_1 – угол между векторами дальности и базой со стороны первой видеокамеры; μ_2 – угол между векторами дальности и базой со стороны второй видеокамеры; B – база – расстояние между двумя видеокамерами.

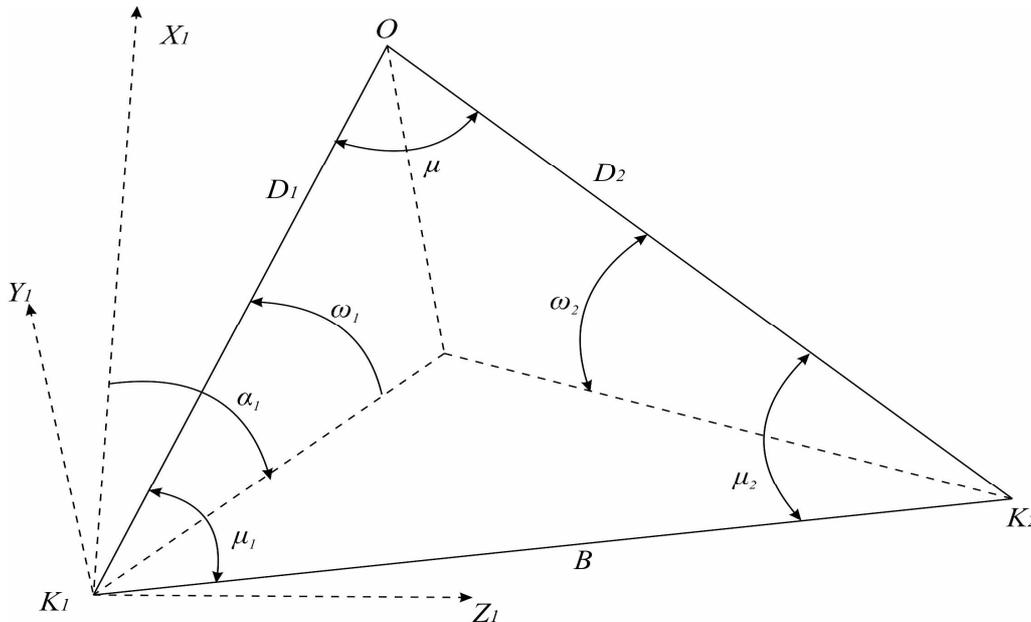


Рисунок 1 – Угломерный метод определения координат ОбН.

Обозначения: O – ОбН; K_1 – видеокамера № 1 (ВК1); K_2 – видеокамера № 2 (ВК2); B – база (расстояние) между видеокамерами ВК1 и ВК2; D_1 – расстояние от ВК1 до ОбН; D_2 – расстояние от ВК2 до ОбН; α_1 – азимут ОбН с ВК1; α_2 – азимут ОбН с ВК2; ω_1 – угол места ОбН с ВК1; ω_2 – угол места ОбН с ВК2; μ – угол между видеокамерами и ОбН; μ_1 – угол между векторами дальности и базой со стороны ВК1; μ_2 – угол между векторами дальности и базой со стороны ВК2; $X_1 Y_1 Z_1$ – местная система координат (ВК1)

$$\frac{\partial D_1}{\partial B} = \frac{\sin \mu_2}{\sin(\mu_1 + \mu_2)}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial D_1}{\partial \mu_1} = -B \frac{\sin \mu_2 \cos(\mu_1 + \mu_2)}{\sin^2(\mu_1 + \mu_2)}; \quad (10)$$

$$\frac{\partial D_1}{\partial \mu_2} = \frac{B}{\sin(\mu_1 + \mu_2)} \left[\cos \mu_2 - \frac{\sin \mu_2 \cos(\mu_1 + \mu_2)}{\sin(\mu_1 + \mu_2)} \right]. \quad (11)$$

Анализ формул (9)–(11) показывает, что минимальное значение ошибки определения местоположения ОбН достигается в том случае, когда $\sin(\mu_1 + \mu_2) = 1$, т.е. когда угол между направлениями от видеокамер на ОбН $\mu = 90^\circ$. Исходя из этого, можно установить видеокамеры для регистрации несколькими различными методами, которые представлены на последующих рисунках.

При первом методе установки видеокамер, представленном на рисунке 2, первая видеокамера (ВК1) устанавливается перпендикулярно направлению полета (НП) ОбН, а вторая видеокамера (ВК2) – по НП ОбН за (как на рисунке) или перед целью.

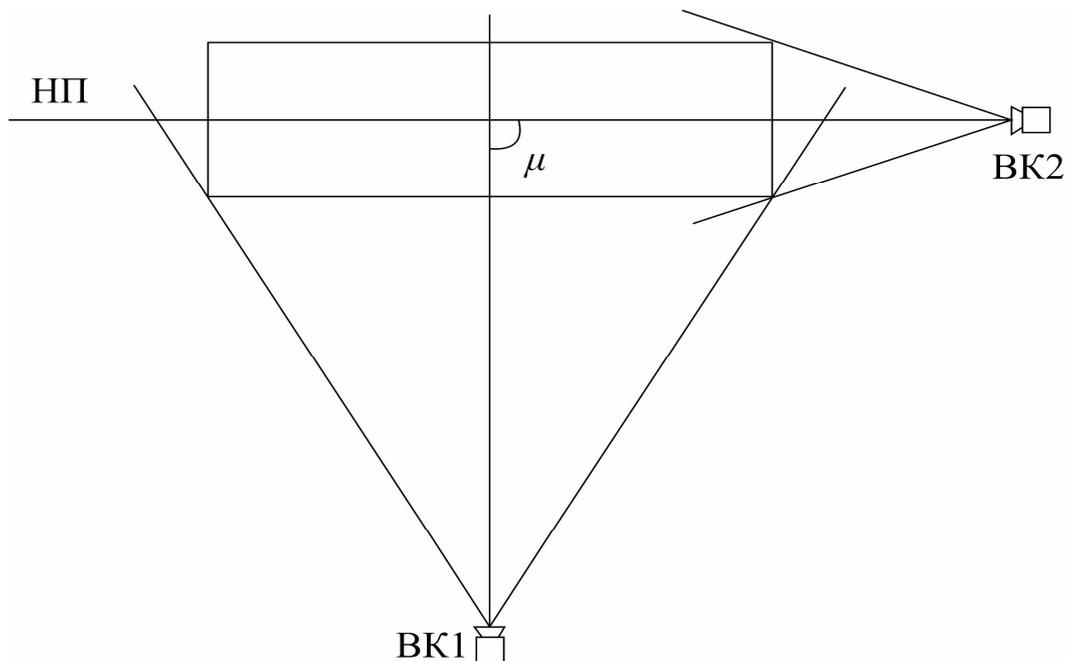


Рисунок 2 – Первый метод размещения видеокамер для регистрации конечных участков траектории полета ОбН

При втором методе, представленном на рисунке 3, обе видеокамеры устанавливаются параллельно направлению полета ОбН.

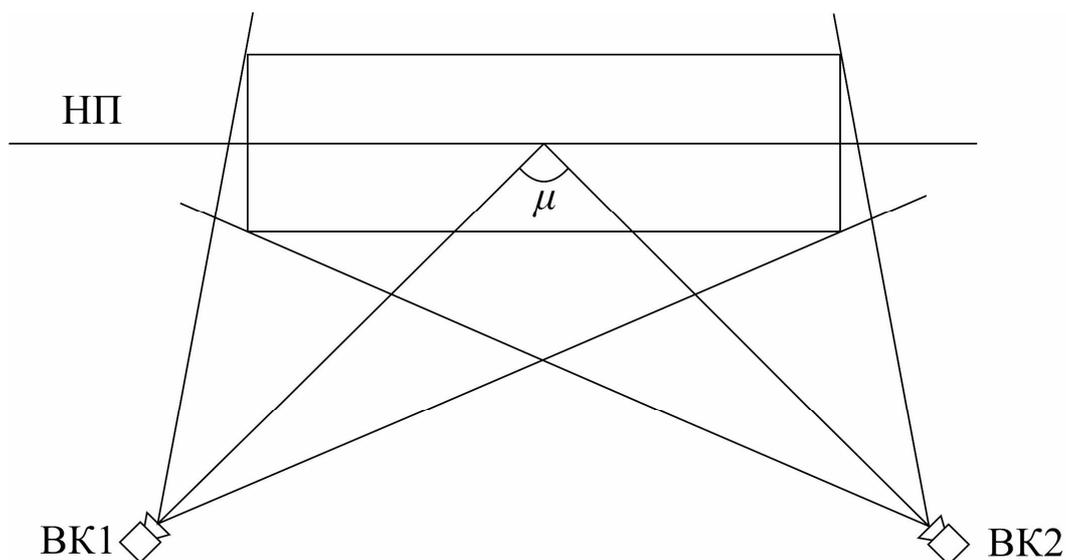


Рисунок 3 – Второй метод размещения видеокамер для регистрации конечных участков траектории полета ОбН

При третьем методе, представленном на рисунке 4, обе видеокамеры устанавливаются за целью справа и слева относительно направления полета ОбН.

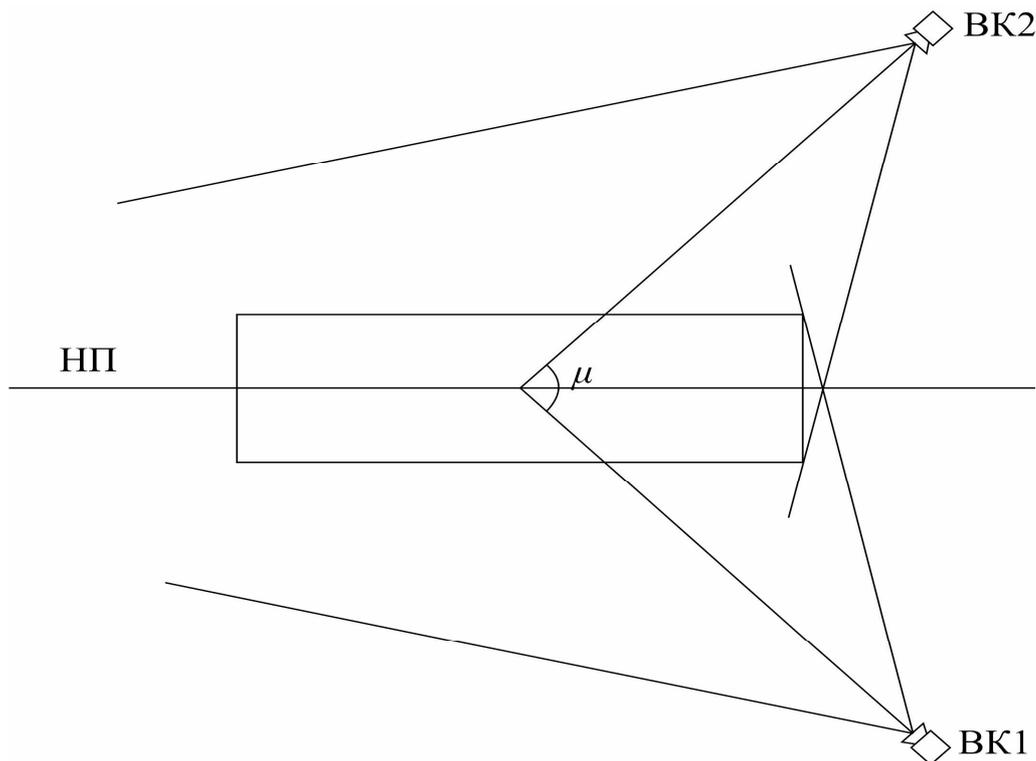


Рисунок 4 – Третий метод размещения видеокамер для регистрации конечных участков траектории полета ОБН

Во всех этих случаях оптические оси видеокамер пересекаются в центре регистрируемого пространства под углом μ , близким к 90° .

Выбор метода установки видеокамер в каждом конкретном случае производится с учетом рельефа местности в районе полета ОБН и времени проведения процесса регистрации. С установленных видеокамер должны быть без помех видны район полета ОБН, а также вся зона регистрации. Кроме того, необходимо обеспечить такую регистрацию, чтобы в установленные видеокамеры не попадали солнечные лучи, так как это приведет к снижению качества материалов регистрации до уровня, непригодного для дальнейшей обработки. В этом отношении может быть полезна установка на видеокамеры блинд подходящего размера.

Вывод. Обоснована актуальность решения задач определения характеристик ОБН с использованием видеокамер общего назначения. Представлено несколько типовых методов установки видеокамер для регистрации процессов, происходящих при испытаниях АТиВ с ОБН на конечном участке траектории его полета. Разработанные типовые методы позволяют более рационально организовать процесс регистрации ОБН, усовершенствовать его информационное обеспечение, сократить сроки испытаний.

Список литературы

1. Арканов А. В. Метод оценки показателей качества испытываемых сложных технических систем с использованием априорной информации / А. В. Арканов, В. И. Лобейко, А. В. Старусев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 2 (18). – С. 39–43.
2. Додонов А. Г. Наземные оптические, оптико-электронные и лазерно-телевизионные средства траекторных измерений / А. Г. Додонов, В. Г. Пуятин // Математичні машини і системи. – 2017. – № 4.
3. Волотов Е. М. Аттестация оптических средств траекторных измерений следящего типа / Е. М. Волотов, А. В. Тишлиев, Е. И. Митрофанов, И. В. Митрофанов // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 12. – С. 25–29.
4. Волотов Е. М. Метод определения направлений на объект при использовании видеосредств / Е. М. Волотов, С. П. Халютин // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2012. – № 185 (11). – С. 69–76.
5. Волотов Е. М. Метод определения фокусного расстояния видеокамеры при оценке летно-технических характеристик летательного аппарата / Е. М. Волотов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 4 – С. 76–83.
6. Гумаров С. Г. Определение погрешности измерений, минимизирующей ошибки первого и второго рода / С. Г. Гумаров, О. К. Золотов, Е. М. Волотов, И. В. Митрофанов // Автоматизация. Современные технологии. – 2017. – Т. 71, № 1. – С. 37–41.

7. Князь В. А. Оптическая система захвата движения для анализа и визуализации трехмерных процессов / В. А. Князь // ГРАФИКОН'2015 : тр. Юбил. 25-й Междунар. науч. конф. – 2015. – С. 232–236.
8. Лобейко В. И. Современные подходы к организации испытаний сложных систем / В. И. Лобейко : моногр. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский государственный университет», 2006. – С. 332.
9. Луцков Ю. И. Погрешности видеоаппаратуры при проведении траекторных измерений / Ю. И. Луцков, А. П. Чупахин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 9–1. – С. 120–126.
10. Мацькин С. В. Применение концепции виртуальных систем для решения задач оптических траекторных измерений / С. В. Мацькин, В. В. Осипов, С. Б. Савилкин // Авиационная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 1.
11. Митрофанов Е. И. Оценка точности методов определения фокусного расстояния видеосредств, используемых в системах видеорегистрации / Е. И. Митрофанов, Ю. А. Степанченко, Е. М. Волотов, Н. А. Ефимов, И. В. Митрофанов // XI Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского : сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Москва : Издательский дом Академии им. Н.Е. Жуковского, 2014. – С. 278–282.
12. Митрофанов Е. И. Роль и место траекторных измерений при проведении летных испытаний авиационной техники и вооружения / Е. И. Митрофанов, Е. М. Волотов, И. В. Митрофанов // Академические Жуковские чтения : мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2013. – С. 26–29.
13. Митрофанов Е. И. Система обработки информации материалов видеорегистрации при испытаниях образцов авиационной техники и вооружения / Е. И. Митрофанов, Е. М. Волотов, Н. А. Ефимов, И. В. Митрофанов // Надежность и качество : тр. Междунар. симпоз. – Пенза : Пензенский государственный университет, 2014. – Т. 2. – С. 10–15.
14. Митрофанов Е. И. Устранение грубых ошибок геодезической привязки при обработке информации конечного участка траектории движения объекта испытаний / Е. И. Митрофанов, Е. М. Волотов, Н. А. Ефимов, И. В. Митрофанов // Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропотекающих процессах : мат-лы XXIV Всерос. науч.-техн. конф. школы-семинара. – Сочи, 2013. – С. 480–483.
15. Митрофанов И. В. Ошибки оператора при компараторной обработке информации видеорегистрации / И. В. Митрофанов, Е. М. Волотов, Е. И. Митрофанов // X Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского : сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Москва : Издательский дом Академии им. Н.Е. Жуковского, 2013. – С. 250–254.
16. Середа Н. В. Определение параметров углового движения мины по результатам видеосъемки начального участка траектории / Н. В. Середа, Н. В. Могильников // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 12–1. – С. 33–40.
17. Середа Н. В. Оценка точности определения углового положения мины по результатам видеосъемки начального участка траектории / Н. В. Середа // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 12–1. – С. 41–45.
18. Старусев А. В. Метод оценки и обеспечения качества испытаний автоматизированных систем / А. В. Старусев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4 (28). – С. 197–204.
19. Чернухин В. Н. Основы испытаний авиационной техники. Часть вторая / В. Н. Чернухин, Ю. В. Новокшенов, С. И. Пляскота. – Москва : Издание ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1994. – 334 с.
20. Чупахин А. П. Оценка скорости полета малых летательных аппаратов с помощью видеоаппаратуры / А. П. Чупахин, М. Л. Савин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 9–1. – С. 126–130.

References

1. Arkanov A. V., Lobejko V. I., Starusev A. V. Metod otsenki pokazateley kachestva ispytyvaemykh slozhnykh tekhnicheskikh sistem s ispolzovaniem apriornoy informatsii [Method of assessment of indicators of quality of the tested complex technical systems with use of prior information]. *Prikaspijskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2012, no. 2 (18), pp. 39–43.
2. Dodonov A. G., Putyatin V. G. Nazemnyye opticheskie, optiko-elektronnye i lazerno-televizionnye sredstva traektornykh izmereniy [Land optical, optical-electronic and laser and television means of trajectory measurements]. *Matematichni mashini i sistemi* [Mathematical Cars and Systems], 2017, no. 4.
3. Volotov E. M., Tishliev A. V., Mitrofanov E. I., Mitrofanov I. V. Attestatsiya opticheskikh sredstv traektornykh izmereniy sledyashchego tipa [Certification of optical means of trajectory measurements of the watching type] *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern Technologies], 2016, no. 12, pp. 25–29.
4. Volotov E. M., Halyutin S. P. Metod opredeleniya napravleniy na obekt pri ispolzovanii videosredstv [A method of definition of the directions on an object when using video means]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2012, no. 185 (11), pp. 69–76.
5. Volotov E. M. Metod opredeleniya fokusnogo rasstoyaniya videokamery pri otsenke letno-tekhnicheskikh kharakteristik letatel'nogo apparata [Method of determination of focal length of the video camera at assessment of flight technical characteristics of the aircraft]. *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskije nauki* [News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Technical Science], 2012, pp. 76–83.
6. Gumarov S. G., Zolotov O. K., Volotov E. M., Mitrofanov I. V. Opredelenie pogreshnosti izmereniy, minimiziruyushchey oshibki pervogo i vtorogo roda [Definition of the error of measurements minimizing errors of the first and second sort]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern Technologies], 2017, vol. 71, no. 1, pp. 37–41.
7. Knyaz V. A. Opticheskaya sistema zakhvata dvizheniya dlya analiza i vizualizatsii trekhmernykh processov [The optical system of occupation of the movement for the analysis and visualization of three-dimensional processes]. *GRAFIKON'2015 : trudy Yubileynoy 25-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [GRAPHICON'2015 : Proceedings of the Anniversary 25th International Scientific Conference], 2015, pp. 232–236.

8. Lobejko V. I. *Sovremennye podhody k organizatsii ispytaniy slozhnykh sistem : monografiya* [Modern approaches to the organization of tests of complex systems : monograph]. Astrakhan, Astrakhan State University Publ. House, 2006, p. 332.
9. Lutskov Yu. I., Chupakhin A. P. Pogreshnosti videoapparatury pri provedenii traektornykh izmereniy [Video equipment errors when carrying out trajectory measurements]. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskies nauki* [News of the Tula State University. Technical Science], 2014, no. 9–1, pp. 120–126.
10. Matsykin S. V., Osipov V. V., Savilkin S. B. Primenenie konceptsii virtualnykh sistem dlya resheniya zadach opticheskikh traektornykh izmereniy [Application of the concept of virtual systems for the solution of problems of optical trajectory measurements]. *Aviatsionnaya promyshlennost* [Aviation Industry], 2012, no. 3, p. 1.
11. Mitrofanov E. I., Stepanchenko Yu. A., Volotov E. M., Efimov N. A., Mitrofanov I. V. Otsenka tochnosti metodov opredeleniya fokusnogo rasstoyaniya videosredstv, ispolzuemykh v sistemah videoregistratsii [Assessment of accuracy of methods of determination of focal length of the video means used in the systems of video registration]. *XI Nauchnye chteniya po aviatsii, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo* : *sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The XI Scientific readings on aircraft devoted to N.E. Zhukovsky's memory : Proceedings of the All-Russian Scientific Technical Conference]. Moscow, Publishing House of N.E. Zhukovsky Academy, 2014, pp. 278–282.
12. Mitrofanov E. I., Volotov E. M., Mitrofanov I. V. Rol i mesto traektornykh izmereniy pri provedenii letnykh ispytaniy aviatsionnoy tekhniki i vooruzheniya [Role and the place of trajectory measurements when carrying out flight tests of the aircraft equipment and arms]. *Akademicheskie Zhukovskie chteniya : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Academic Zhukovsky Readings : Proceedings of the All-Russian Scientific Practical Conference]. Voronezh, 2013, pp. 26–29.
13. Mitrofanov E. I., Volotov E. M., Efimov N. A., Mitrofanov I. V. Sistema obrabotki informatsii materialov video-registratsii pri ispytaniyakh obraztsov aviatsionnoy tekhniki i vooruzheniya [The system of information processing of materials of video registration when testing samples of the aircraft equipment and arms]. *Nadezhnost i kachestvo : trudy mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and quality : Proceedings of the International Symposium], 2014, no. 2, pp. 10–15.
14. Mitrofanov E. I., Volotov E. M., Efimov N. A., Mitrofanov I. V. Ustranenie grubyykh oshibok geodezicheskoy privyazki pri obrabotke informatsii konechnogo uchastka traektorii dvizheniya obekta ispytaniy [Elimination of gross blunders of a geodetic binding at information processing of the final site of a trajectory of the movement of a subject to tests]. *Peredacha, priem, obrabotka i otobrazhenie informatsii o bystroprotekeyushchikh protsessakh : materialy XXIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii shkoly-seminara* [Transfer, reception, processing and display of information on the fast-proceeding processes : Proceedings of the XXIV All-Russian Scientific and Technical Conference of School-Seminar]. Sochi, 2013, pp. 480–483.
15. Mitrofanov I. V., Volotov E. M., Mitrofanov E. I. Oshibki operatora pri komparatornoy obrabotke informatsii videoregistratsii [Mistakes of the operator at komparatory information processing of video registration]. *X Nauchnye chteniya po aviatsii, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo* : *sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The X Scientific Readings on aircraft devoted to N.E. Zhukovsky's memory : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference]. Moscow, Publishing House of N.E. Zhukovsky Academy, 2013, pp. 250–254.
16. Sereda N. V., Mogilnikov N. V. Opredelenie parametrov uglovogo dvizheniya miny po rezultatam videosemki nachalnogo uchastka traektorii [Determination of parameters of the angular movement of a mine by results of video filming of the initial site of a trajectory]. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskies nauki* [News of the Tula State University. Technical Science], 2014, no. 12–1, pp. 33–40.
17. Sereda N. V. Otsenka tochnosti opredeleniya uglovogo polozheniya miny po rezultatam videosemki nachalnogo uchastka traektorii [Assessment of accuracy of definition of angular position of a mine by results of video filming of the initial site of a trajectory]. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskies nauki* [News of the Tula State University. Technical Science], 2014, no. 12–1, pp. 41–45.
18. Starusev A. V. Metod otsenki i obespecheniya kachestva ispytaniy avtomatizirovannykh sistem [Method of assessment and ensuring quality of tests of the automated systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 4 (28), pp. 197–204.
19. Chernukhin V. N., Novokshonov Yu. V., Plyaskota S. I. *Osnovy ispytaniy aviatsionnoy tekhniki. Chast vtoraya* [Basics of aeronautical engineering testing. Part two]. Moscow, VVIA named after prof. N.E. Zhukovsky, 1994, p. 334.
20. Chupakhin A. P., Savin M. L. Otsenka skorosti poleta malykh letatelnykh apparatov s pomoshchyu videoapparatury [Assessment of the speed of flight small flying devices by means of a videoapparatus]. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskies nauki* [News of the Tula State University. Technical Science], 2014, no. 9–1, pp. 126–130.