

## МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ НА БАЗЕ ВИДЕОКАМЕР ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е. М. Волотов<sup>1</sup>, Т. А. Волотова<sup>2</sup>, И. В. Митрофанов<sup>3</sup>, Е. И. Митрофанов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Филиал «Взлет» Московского авиационного института (национальный университет),  
Ахтубинск, Астраханская обл., Россия

<sup>2</sup> Ахтубинская кадетская школа-интернат имени П. О. Сухого, Ахтубинск, Астраханская обл., Россия

<sup>3</sup> Войсковая часть 15650, Ахтубинск, Астраханская обл., Россия

<sup>4</sup> Технологический парк космонавтики «Линкос», Щербинка, Москва, Россия  
<sup>1, 2, 3, 4</sup> volotovevgenii@gmail.com

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Для определения параметров траектории различных летательных аппаратов, а также их взаимного расположения в воздушном пространстве в настоящее время широко используются системы обработки информации, зарегистрированной с помощью видеокамер общего назначения. Однако до настоящего времени не до конца определены области применения систем регистрации с использованием видеокамер общего назначения, а также точность получаемых параметров траектории. Поэтому создание модели погрешности, учитывающей все факторы, влияющие на точность определения параметров траектории, является актуальной задачей. *Материалы и методы.* В процессе получения информации по траектории можно выделить три составляющие этого процесса – регистрацию, технологические линии обработки и методы, алгоритмы и программы. Поэтому для создания модели погрешности и анализа факторов, влияющих на точность определения параметров траектории, необходимо рассмотреть указанные составляющие процесса их получения. *Результаты.* Проведенный анализ показал, что погрешность определения параметров траектории определяется инструментальными погрешностями. Тогда математическая модель рассматриваемой погрешности будет представлена в виде объединения инструментальной систематической погрешности, состоящей из погрешности во временной привязке обрабатываемых видеок кадров, и погрешности, вносимой угловой ценой пикселя, а также случайной внутренней погрешности, состоящей из погрешности геодезической привязки видеокамер и ориентиров, погрешности, вносимой оператором при обработке, а также методической погрешности. *Выводы.* Таким образом, на основе проведенного анализа системы регистрации на базе видеокамер общего назначения, технологической линии, методов, алгоритмов, программ и этапов обработки информации, а также выявленных при этом факторах, влияющих на точность определения параметров траектории, предложена математическая модель общей погрешности их определения. Эта модель позволяет определить область применения систем регистрации с использованием видеокамер общего назначения и точность получаемых параметров траектории.

**Ключевые слова:** траекторные измерения, системы регистрации на базе видеокамер общего назначения, оптические средства траекторных измерений, объект наблюдения, обработка информации

**Для цитирования:** Волотов Е. М., Волотова Т. А., Митрофанов И. В., Митрофанов Е. И. Модель погрешности определения параметров траектории при использовании системы регистрации на базе видеокамер общего назначения // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 29–37. doi:10.21685/2307-4205-2023-1-4

## ERROR MODEL OF DETERMINING THE TRAJECTORY PARAMETERS WHEN USING A REGISTRATION SYSTEM ON THE BASIS OF GENERAL VIDEO CAMERAS

E.M. Volotov<sup>1</sup>, T.A. Volotova<sup>2</sup>, I.V. Mitrofanov<sup>3</sup>, E.I. Mitrofanov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Branch «Vzlet» of the Moscow Aviation Institute (National University),  
Akhtubinsk, Astrakhan region, Russia

<sup>2</sup> Akhtubinskaya cadet boarding school named after P.O. Sukhoi, Akhtubinsk, Astrakhan region, Russia

<sup>3</sup> Military unit 15650, Akhtubinsk, Astrakhan region, Russia

<sup>4</sup> Technological Park of Astronautics "Linkos", Shcherbinka, Moscow, Russia  
<sup>1, 2, 3, 4</sup> volotovevgenii@gmail.com

**Abstract.** *Background.* To determine the parameters of the trajectory of various aircraft, as well as their relative position in airspace, information processing systems registered with general purpose cameras are currently widely used. However, to date, the scope of registration systems using general-purpose cameras, as well as the accuracy of the obtained trajectory parameters, have not been completely determined. Therefore, the creation of an error model that takes into account all factors affecting the accuracy of determining the trajectory parameters is an urgent task. *Materials and methods.* In the process of obtaining trajectory information, three components of this process can be distinguished – registration, processing lines and methods, algorithms and programs. Therefore, to create a model of error and analysis of factors affecting the accuracy of determining the trajectory parameters, it is necessary to consider the indicated components of the process of obtaining them. *Results.* The analysis showed that the error in determining the parameters of the trajectory is determined by instrumental errors. Then the mathematical model of the considered error will be presented in the form of a combination of instrumental systematic error, consisting of the error in the temporal reference of the processed video frames and the error introduced by the angular price of the pixel, as well as a random internal error, consisting of the error of the geodetic reference of the cameras and landmarks, the error introduced by the operator when processing, as well as methodological error. *Conclusions.* Thus, based on the analysis of the registration system on the basis of general-purpose cameras, a technological line, methods, algorithms, programs and information processing steps, as well as the factors identified thereby affecting the accuracy of determining the trajectory parameters, a mathematical model of the general error of their determination is proposed. This model allows you to determine the scope of registration systems using general-purpose cameras and the accuracy of the obtained trajectory parameters.

**Keywords:** trajectory measurements, registration systems based on general-purpose video cameras, optical means of trajectory measurements, object of observation, information processing

**For citation:** Volotov E.M., Volotova T.A., Mitrofanov I.V., Mitrofanov E.I. Error model of determining the trajectory parameters when using a registration system on the basis of general video cameras. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2023;(1):29–37. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2023-1-4

## Введение

В настоящее время для определения параметров траектории различных летательных аппаратов, а также их взаимного расположения в воздушном пространстве широко используются системы обработки информации, зарегистрированной с помощью видеокамер общего назначения [1]. Для таких систем обработки разработаны методы определения положения объектов в пространстве. Эти методы являются автономными, так как не требуют дополнительно других наземных средств измерений. Однако до настоящего времени не до конца определены области применения систем регистрации с использованием видеокамер общего назначения [2–4], а также точность получаемых параметров траектории [5–6].

Процесс получения параметров траектории различных летательных аппаратов при использовании любых измерительных систем состоит из этапов регистрации и обработки [7–9]. При этом процесс обработки определяется как технологическими линиями, так и методами, алгоритмами и программами [10–18], используемыми в этих технологических линиях. Таким образом, в процессе получения информации по траектории можно выделить три составляющие этого процесса:

- регистрации;
- технологические линии обработки;
- методы, алгоритмы и программы.

Для создания модели погрешности и анализа факторов, влияющих на точность определения параметров траектории, необходимо рассмотреть указанные составляющие процесса их получения.

Система регистрации на базе видеокамер общего назначения предназначена для определения параметров траекторий летательных аппаратов, а также их взаимного расположения в воздушном пространстве. Определение параметров траектории осуществляется после обработки зарегистрированной видеоинформации на автоматизированном рабочем месте. Система регистрации на базе видеокамер общего назначения строится по принципу средств регистрации патрульного типа, устанавливается в заранее намеченной точке и неподвижно направляется в определенный сектор пространства. В зависимости от требуемой точности параметров траектории определяется количество видеокамер в системе регистрации. Основной задачей рассматриваемой системы во время проведения процесса регистрации является получение изображения объекта, траекторию которого необходимо определить, а также ориентиров с известными геодезическими привязками. Поэтому при подготовке к регистрации большое значение имеет процесс геодезической привязки видеокамер и ориентиров и его точность. Поскольку видеокамеры общего назначения не относятся к оптическим средствам траекторных измерений, им в большей степени присущи различного рода аберра-

ции. При использовании измерительных систем на их базе необходимо учитывать астигматизм и абберацию дисторсии. Еще одним важным вопросом при решении задачи регистрации является вопрос синхронизации используемых для регистрации видеокамер.

Таким образом, анализ процесса регистрации траектории различных летательных аппаратов, а также их взаимного расположения в воздушном пространстве системой видеокамер общего назначения показал, что точность получения параметров траектории зависит от геодезической привязки видеокамер и ориентиров, синхронизации по времени работы видеокамер, а также качества полученного видеоизображения.

Обработка информации, зарегистрированной видеокамерами общего назначения, осуществляется в послесеканном режиме на технологической линии, включающей прикладное программное обеспечение. При этом решается задача определения прямоугольных координат относительно заданной системы координат. Решение поставленной задачи осуществляется с помощью двух программ:

- программы дешифровки *avi*-файлов;
- программы расчета угловых направлений и прямоугольных координат объекта относительно заданной системы координат.

Входными данными для работы программы дешифровки *avi*-файлов являются видеоизображения объекта, траекторию которого необходимо определить, и ориентиров. Для программы расчета угловых направлений и прямоугольных координат объекта относительно заданной системы координат входными данными являются геодезические координаты ориентиров, массивы координат объекта и ориентиров, полученные на кадрах видеоизображения.

Для определения параметров траектории объекта регистрации используется пеленгационный метод определения прямоугольных координат, основанный на синхронном вычислении угловых направлений на объект по видеоинформации двух видеокамер. При этом реализованы следующие методы:

- определения угловых направлений на ориентиры [11];
- вычисления фокусного расстояния видеокамер [12, 14];
- определения положения оптических осей видеокамер [12];
- определения прямоугольных координат объекта [19, 20].

Полный цикл обработки информации, зарегистрированной видеокамерами общего назначения, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Обработка информации системы регистрации на базе видеокамер общего назначения

**Этап формирования данных.** На этапе формирования данных оператор производит количественную и качественную оценку входных видеоданных путем просмотра зарегистрированных материалов. При этом проверяются наличие, полнота информации, пригодность материалов к обработке по качеству записи информации, а также возможность синхронизации по времени видеoinформации с обеих видеокамер. После анализа результатов просмотра принимается решение о пригодности тех или иных материалов к дальнейшей обработке.

**Этап предварительной подготовки данных.** На этапе предварительной подготовки данных при работе с видеoinформацией оператор, используя программу дешифровки *avi*-файлов, с помощью манипулятора «мышь» указывает координаты ориентиров и объекта на изображении видеокadra. Точность указанных оператором координат ориентиров и объекта зависит от качества видеоизображения и уровня квалификации оператора.

**Этап обработки.** На этапе обработки оператор с помощью программы расчета угловых направлений и прямоугольных координат объекта относительно заданной системы координат определяет фокусное расстояние для каждой видеокамеры и положение их оптических осей – азимуты и углы места. По вычисленным значениям фокусного расстояния объектива видеокамеры, положению оптической оси и координатам объекта на кадрах видеоизображения рассчитываются истинные направления на объект – азимут и угол места для каждой видеокамеры. Завершается этап обработки расчетом прямоугольных координат объекта.

**Этап анализа результатов обработки.** На этапе анализа результатов обработки оператор экспертным путем анализирует полученные результаты обработки с учетом априорных данных о летательном аппарате и делает выводы о достоверности полученных данных.

Таким образом, анализ технологической линии, методов, алгоритмов, программ и этапов обработки информации, полученной видеокамерами общего назначения, показал, что точность определения параметров траектории зависит от угловой цены пикселя видеоизображения, ошибки оператора и методической ошибки.

Проведенный анализ системы регистрации на базе видеокамер общего назначения, технологической линии, методов, алгоритмов, программ и этапов обработки информации позволяет сделать вывод о том, что основными факторами, влияющими на точность определения параметров траектории, являются:

- погрешности, вносимые оператором при обработке [13];
- погрешности геодезической привязки видеокамер и ориентиров [15, 17];
- астигматизм и абберация дисторсии оптической системы видеокамеры [16];
- погрешности во временной привязке обрабатываемых видеокadров от разных видеокамер [18];
- угловая цена пикселя;
- методическая погрешность.

Математическая модель общей погрешности – описание объекта с помощью математических формул, адекватно отражающих интересующий субъект и их погрешность, связи между ними, необходимые для проведения эксперимента.

Математическую модель погрешности определения параметров траектории в общем случае можно представить в виде объединения трех основных составляющих:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_m \cup \sigma_{\text{и}} \cup \sigma_{\text{сл}},$$

где  $\sigma_m$  – методическая погрешность;  $\sigma_{\text{и}}$  – инструментальная погрешность;  $\sigma_{\text{сл}}$  – случайная погрешность.

Классификация погрешностей представлена на рис. 2. Рассмотрим эти погрешности более подробно.

Методическая погрешность – погрешность, вызванная несовершенством математической модели объекта исследований, методами проведения экспериментов и влиянием используемых при этом средств на сам объект. Методическая погрешность чаще всего является следствием различных допущений при использовании эмпирических уравнений.

Инструментальная погрешность – погрешность, обусловленная несовершенством используемых средств и влиянием изменяющихся при этом условий. Она делится на основную, дополнительную и динамическую.

Дополнительная погрешность – погрешность, связанная с правилами эксплуатации отличающихся от нормальных или вне технических условий.

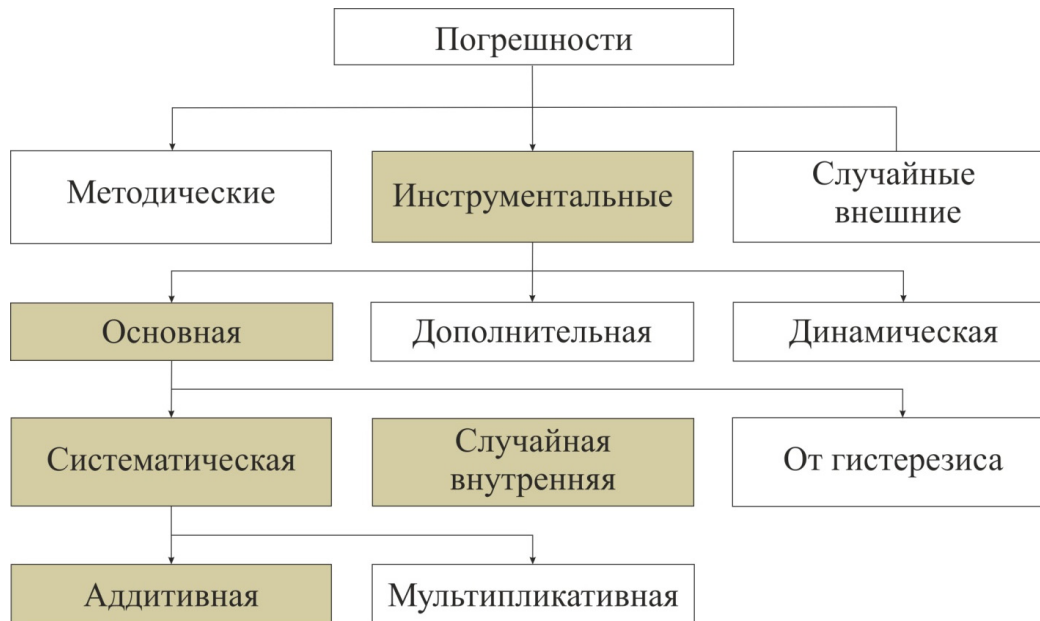


Рис. 2. Классификация погрешностей

Динамическая погрешность – погрешность, возникающая при условии, что исследуемая физическая величина изменяется со временем со скоростью, сравнимой с быстродействием используемых во время экспериментов средств.

Основная погрешность – это наиболее значимая погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся случайным образом в процессе проведения экспериментов. Она, в свою очередь, делится на систематическую, случайную и погрешность гистерезиса.

Погрешность гистерезиса – разность показаний средств измерений, когда измерительная величина подходит к установившемуся значению параметра снизу и сверху.

Систематическая погрешность – погрешность, закономерно изменяющаяся при повторных вычислениях одной и той же величины. Она делится на аддитивную и мультипликативную.

Систематическая аддитивная погрешность – погрешность, закономерно изменяющаяся и не зависящая от определяемой величины.

Систематическая мультипликативная погрешность – погрешность, закономерно изменяющаяся и зависящая от определяемой величины.

Случайная погрешность – погрешность, вызванная действием многих известных и неизвестных внешних причин на определяемую величину. Случайная погрешность, порожденная процессами внутри самих средств, используемых в процессе проведения экспериментов, относится к инструментальной погрешности.

Анализ системы регистрации на базе видеокамер общего назначения, технологической линии, методов, алгоритмов, программ и этапов обработки информации показал, что погрешность определения параметров траектории определяется инструментальными погрешностями.

Тогда математическая модель рассматриваемой погрешности будет представлена в виде объединения инструментальной систематической и случайной внутренней погрешностей:

$$\sigma_{\Sigma} = (\Delta_t + \Delta_{\Pi}) \cup \sigma_{сл},$$

где  $\sigma_{\Sigma}$  – общая погрешность определения параметров траектории;  $\Delta_t$  – систематическая погрешность во временной привязке обрабатываемых видеокадров от разных видеокамер;  $\Delta_{\Pi}$  – систематическая погрешность, вносимая угловой ценой пикселя;  $\sigma_{сл}$  – случайная внутренняя погрешность определения параметров траектории.

При этом случайная погрешность определения параметров траектории будет включать в себя случайную погрешность геодезической привязки видеокамер и ориентиров, случайную погрешность, вносимую оператором при обработке, а также методическую погрешность. С учетом взаимной некоррелированности указанных погрешностей случайная погрешность определения параметров траектории определяется следующим образом:

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

где  $F$  – функция, реализующая метод определения параметров траектории;  $\zeta$  – параметр, от которого зависит рассматриваемая функция  $F$ ;  $n$  – общее количество параметров, от которых зависит функция  $F$ ;  $\sigma_{\zeta_i}$  – случайная погрешность определения каждого параметра  $\zeta$ .

Используя предложенную математическая модель общей погрешности определения параметров траектории, при ее расчете можно действовать двумя способами:

– определить систематические погрешности во временной привязке обрабатываемых видеок кадров от разных видеокамер и вносимую угловой ценой пикселя, а затем исключить их из полученных параметров траектории;

– объединить систематическую и случайную составляющую общей погрешности определения параметров траектории путем перевода систематической погрешности в случайную погрешность.

### Заключение

Таким образом, на основе проведенного анализа системы регистрации на базе видеокамер общего назначения, технологической линии, методов, алгоритмов, программ и этапов обработки информации, а также выявленных при этом факторах, влияющих на точность определения параметров траектории, предложена математическая модель общей погрешности их определения. Эта модель позволяет определить область применения систем регистрации с использованием видеокамер общего назначения и точность получаемых параметров траектории.

### Список литературы

1. Митрофанов Е. И., Волотов Е. М., Ефимов Н. А., Митрофанов И. В. Система обработки информации материалов видеорегистрации при испытаниях образцов авиационной техники и вооружения // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 10–15.
2. Чернуха В. Н. Новокшенов Ю. В., Плякота С. И. Основы испытаний авиационной техники. Часть вторая. М. : Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1994. 334 с.
3. Лобейко В. И. Современные подходы к организации испытаний сложных систем : монография. Астрахань : Астраханский государственный университет, 2006. 332 с.
4. Старусев А. В. Метод оценки и обеспечения качества испытаний автоматизированных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 4. С. 197–204.
5. Луцков Ю. И., Чупахин А. П. Погрешности видеоаппаратуры при проведении траекторных измерений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 9–1. С. 120–126.
6. Николаева А. П. Особенности оценки погрешности измерительных систем при испытаниях авиационной техники при летных испытаниях // Метрология в XXI веке : доклады науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и специалистов. Менделеево, 2013. С. 118–124.
7. Огородничук Н. Д. Обработка траекторной информации. Часть I: Методы реализации пространственной (структурной, параметрической) избыточности измерений при решении нелинейных задач контроля недетерминированных траекторий. Киев : Изд-во КВВАИУ, 1981. 141 с.
8. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М. : Советское радио, 1978. 384 с.
9. Волотов Е. М., Нестеров С. В., Митрофанов И. В. [и др.]. Автоматизированная обработка траекторной информации системы регистрации на базе видеокамер общего назначения // Научные ведомости. Белгородского государственного университета. Сер.: Экономика. Информатика. 2018. Т. 45, № 4. С. 786–792. doi:10.18413/2411-3808-2018-45-4-786-792
10. Гумаров С. Г., Корсун О. Н. Метод определения динамической погрешности оптических станций траекторных измерений // Метрология. 2011. № 3. С. 16–23.
11. Волотов Е. М., Халютин С. П. Метод определения направлений на объект при использовании видеосредств // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2012. № 185. С. 69–76.
12. Волотов Е. М. Метод определения фокусного расстояния видеокамеры при оценке летно-технических характеристик летательного аппарата // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 4. С. 76–83.
13. Митрофанов И. В., Волотов Е. М., Митрофанов Е. И. Ошибки оператора при компараторной обработке информации видеорегистрации // X Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского: сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. М. : Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2013. С. 250–254.

14. Митрофанов Е. И., Степанченко Ю. А., Волотов Е.М. [и др.]. Оценка точности методов определения фокусного расстояния видеосредств, используемых в системах видеорегистрации // XI Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского : сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. М. : Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2014. С. 278–282.
15. Волотов Е. М., Нестеров С. В., Митрофанов И. В. [и др.]. Разработка типовых методов установки видеокамер системы регистрации конечного участка траектории объекта наблюдения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2018. № 2. С. 127–136.
16. Волотов Е. М., Нестеров С. В., Митрофанов И. В. [и др.]. Метод устранения искажений изображения, вносимых за счет дисторсии объектива видеокамеры // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 12. С. 283–291.
17. Волотов Е. М., Нестеров С. В., Митрофанов И. В., Кокорина С. Б. Методы устранения грубых ошибок и уточнения координат привязки средств регистрации и ориентиров // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4. С. 142–149. doi:10.21685/2307-4205-2018-16
18. Митрофанов И. В., Волотов Е. М., Болгов А. И. [и др.]. Метод определения времени рассогласования регистрации двух видеокамер общего назначения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2018. № 4. С. 81–89.
19. Волотов Е. М., Митрофанов И. В., Балык О. А. [и др.]. Регистрация и обработка материалов внешнетраекторных измерений при испытаниях авиационной техники : учеб. пособие. М. : Изд-во МАИ, 2018. 92 с.
20. Митрофанов И. В., Волотов Е. М., Ефимов Н. А. [и др.]. Определение траекторных параметров авиационной техники, полученных по материалам видеорегистрации : учеб. пособие. М. : Изд-во МАИ, 2018. 68 с.

### References

1. Mitrofanov E.I., Volotov E.M., Efimov N.A., Mitrofanov I.V. Information processing system of video recording materials during testing of samples of aircraft equipment and weapons. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2014;2:10–15. (In Russ.)
2. Chernukha V.N. Novokshonov Yu.V., Plyaskota S.I. *Osnovy ispytaniy aviatsionnoy tekhniki. Chast' vtoraya = Fundamentals of testing of aviation equipment. Part Two*. Moscow: Izdanie VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 1994:334. (In Russ.)
3. Lobeyko V.I. *Sovremennye podkhody k organizatsii ispytaniy slozhnykh sistem: monografiya = Modern approaches to the organization of testing of complex systems : monograph*. Astrakhan': Astrakhanskiy gosudarstvennyy universitet, 2006:332. (In Russ.)
4. Starusev A.V. Method of evaluation and quality assurance of automated systems tests. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian Journal: management and high technologies*. 2014;(4):197–204. (In Russ.)
5. Lutskov Yu.I., Chupakhin A.P. Errors of video equipment during trajectory measurements. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2014;(9–1):120–126. (In Russ.)
6. Nikolaeva A.P. Features of error estimation of measuring systems during tests of aviation equipment during flight tests. *Metrologiya v XXI veke: doklady nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh, aspirantov i spetsialistov = Metrology in the XXI century : reports of scientific and practical conf. of young scientists, postgraduates and specialists*. Mendeleev, 2013:118–124. (In Russ.)
7. Ogorodniyчук N.D. *Obrabotka traektornoy informatsii. Chast' I: Metody realizatsii prostranstvennoy (strukturnoy, parametricheskoy) izbytochnosti izmereniy pri reshenii nelineynykh zadach kontrolya nedeterminirovannykh traektoriy = Processing of trajectory information. Part I: Methods for implementing spatial (structural, parametric) redundancy of measurements in solving nonlinear control problems of non-deterministic trajectories*. Kiev: Izd-vo KVVAIU, 1981:141. (In Russ.)
8. Zhdanyuk B.F. *Osnovy statisticheskoy obrabotki traektornykh izmereniy = Fundamentals of statistical processing of trajectory measurements*. Moscow: Sovetskoe radio, 1978:384. (In Russ.)
9. Volotov E.M., Nesterov S.V., Mitrofanov I.V. [et al.]. Automated processing of trajectory information of the registration system based on general-purpose video cameras. *Nauchnye vedomosti. Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Ekonomika. Informatika = Scientific bulletin. Belgorod State University. Ser.: Economics. Computer science*. 2018;45(4):786–792. (In Russ.). doi:10.18413/2411-3808-2018-45-4-786-792
10. Gumarov S.G., Korsun O.N. Method for determining the dynamic error of optical trajectory measurement stations. *Metrologiya = Metrology*. 2011;(3):16–23. (In Russ.)
11. Volotov E.M., Khalyutin S.P. Method of determining directions to an object when using video media. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii = Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 2012;(185):69–76. (In Russ.)
12. Volotov E.M. Method for determining the focal length of a video camera when evaluating the flight characteristics of an aircraft. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences*. 2012;(4):76–83. (In Russ.)

13. Mitrofanov I.V., Volotov E.M., Mitrofanov E.I. Operator errors during comparator processing of video registration information. *X Nauchnye chteniya po aviatsii, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo: sb. dokl. Vseros. nauch.-tekhn. konf. = X Scientific readings on aviation dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky: a collection of reports of the All-Russian scientific and technical conf.* Moscow: Izdatel'skiy dom Akademii im. N.E. Zhukovskogo, 2013:250–254. (In Russ.)
14. Mitrofanov E.I., Stepanchenko Yu.A., Volotov E.M. et al. Evaluation of the accuracy of methods for determining the focal length of video media used in video recording systems. *XI Nauchnye chteniya po aviatsii, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo: sb. dokl. Vseros. nauch.-tekhn. konf. = XI Scientific readings on aviation dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky : a collection of reports of the All-Russian scientific and technical. conf.* Moscow: Izdatel'skiy dom Akademii im. N.E. Zhukovskogo, 2014:278–282. (In Russ.)
15. Volotov E.M., Nesterov S.V., Mitrofanov I.V. et al. Development of standard methods for installing video cameras of the registration system of the final section of the trajectory of the object of observation. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian Journal: Management and High Technologies.* 2018;(2):127–136. (In Russ.)
16. Volotov E.M., Nesterov S.V., Mitrofanov I.V. et al. A method for eliminating image distortions introduced due to distortion of the camera lens. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical sciences.* 2018;(12):283–291. (In Russ.)
17. Volotov E.M., Nesterov S.V., Mitrofanov I.V., Kokorina S.B. Methods of eliminating gross errors and clarifying the coordinates of the binding of registration tools and landmarks. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2018;(4):142–149. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2018-16
18. Mitrofanov I.V., Volotov E.M., Bolgov A.I. et al. Method for determining the time of mismatch of registration of two general-purpose video cameras. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian Journal: Management and High Technologies.* 2018;(4):81–89. (In Russ.)
19. Volotov E.M., Mitrofanov I.V., Balyk O.A. et al. *Registratsiya i obrabotka materialov vneshnetraektonnykh izmereniy pri ispytaniyakh aviatsionnoy tekhniki: ucheb. posobie = Registration and processing of materials of external vector measurements during tests of aviation equipment : textbook.* Moscow: Izd-vo MAI, 2018:92. (In Russ.)
20. Mitrofanov I.V., Volotov E.M., Efimov N.A. et al. *Opreделение traektonnykh parametrov aviatsionnoy tekhniki, poluchennykh po materialam videoregistratsii: ucheb. posobie = Determination of trajectory parameters of aviation equipment obtained from video recording materials : textbook.* Moscow: Izd-vo MAI, 2018:68. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Евгений Михайлович Волотов

кандидат технических наук, доцент кафедры  
испытания авиационной техники,  
Филиал «Взлет» Московского авиационного  
института (национальный университет)  
(Россия, Астраханская область, г. Ахтубинск,  
ул. Добролюбова, 5)  
E-mail: volotovevgenii@gmail.com

#### Татьяна Александровна Волотова

учитель физики и информатики,  
Ахтубинская кадетская школа-интернат  
имени П. О. Сухого,  
(Россия, Астраханская область,  
г. Ахтубинск, ул. Шоссе Авиаторов, 7)  
E-mail: volotovevgenii@gmail.com

#### Игорь Викторович Митрофанов

кандидат технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник,  
Войсковая часть 15650  
(Россия, Астраханская область, г. Ахтубинск-7)  
E-mail: volotovevgenii@gmail.com

#### Evgeniy M. Volotov

Candidate of technical sciences, associate professor  
of the sub-department of aviation technology testing,  
Moscow Aviation Institute (National University)  
Branch «Vzlet» in Akhtubinsk  
(5 Dobrolyubova street, Akhtubinsk,  
Astrakhan region, Russia)

#### Tatyana A. Volotova

Teacher of physics and computer science,  
Akhtubinskaya cadet boarding school  
named after P.O. Sukhoi  
(7 Shosse Aviatorov street, Akhtubinsk,  
Astrakhan region, Russia)

#### Igor V. Mitrofanov

Candidate of technical sciences, associate professor,  
senior researcher,  
Military unit 15650  
(Akhtubinsk-7, Astrakhan region, Russia)



**Евгений Игоревич Митрофанов**

инженер-программист,

Технологический парк космонавтики «Линкос»

(Россия, г. Москва, г. Щербинка, ул. Дорожная, 5)

E-mail: volotovevgenii@gmail.com

**Evgeniy I. Mitrofanov**

Engineer-programmer,

Technological Park of Astronautics "Linkos"

(5 Dorozhnaya street, Shcherbinka, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 20.12.2022**

**Поступила после рецензирования/Revised 17.01.2023**

**Принята к публикации/Accepted 16.02.2023**