

УДК 681.7.08

DOI 10.18413/2411-3808-2018-45-4-782-788

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ТРАЕКТОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ
СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ НА БАЗЕ ВИДЕОКАМЕР ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ
AUTOMATED PROCESSING OF TRAJECTORY DATA OF SYSTEM
OF REGISTRATION BASED ON GENERAL PURPOSE CAMERAS**

**Е.М. Волотов¹, С.В. Нестеров¹, И.В. Митрофанов², С.Б. Кокорина², Е.И. Митрофанов³
E.M. Volotov¹, S.V. Nesterov¹, I.V. Mitrofanov², S.B. Kokorina², E.I. Mitrofanov³**

¹) Филиал «Взлет» федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный университет)»,

Россия, 416501, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, д. 5

²) Войсковая часть 15650, Россия, 416507, Астраханская область, г. Ахтубинск-7

³) ЗАО «Технологический Парк Космонавтики «Линкос»,
Россия, 142172, г. Москва, г. Щербинка, ул. Дорожная, д. 5

¹) Moscow Aviation Institute (National Research University), branch «Vzlet» in Akhtubinsk
5 Dobrolyubova St., Akhtubinsk, Astrakhan region, 416501, Russia

²) Military unit 15650, Astrakhan region, Akhtubinsk-7, 416507, Russia

³) Close corporation «Technological Park of Astronautics «Linkos»,
5 Dorozhnaya St., Shcherbinka, Moscow, 142172, Russia

E-mail: volotovevgenii@gmail.com

Аннотация

Одним из приоритетных направлений повышения качества испытаний авиационной техники и вооружения является совершенствование информационного обеспечения испытаний. В настоящее время происходит широкое внедрение систем регистрации на базе видеокамер общего назначения. Автоматизированная обработка траекторной информации, полученной от таких систем является актуальной задачей. В статье описаны технологическая линия и этапы обработки траекторной информации, зарегистрированной с помощью видеокамер общего назначения, используемые методы и реализованные алгоритмы обработки. Использование в практике летных испытаний систем видеорегистрации на базе видеокамер общего назначения, а также технологических линий обработки информации, зарегистрированной такими системами, позволяет получать не только качественные, но и количественные оценки процессов, происходящих с объектом испытаний.

Abstract

One of the priority directions of improvement of flight tests quality of aeronautical equipment and aircraft weapon is upgrading information support of tests. When conducting tests for measurements on the final trajectory of test items, the use of new mobile optical devices is required. These devices should provide automatic recording standby mode, be serviced by a small number of personnel and be quickly delivered and deployed in a given area. Today there is a large scale implementation of system of registration on the basis of traditional video cameras. Automated processing of trajectory data received from such systems is a relevant objective. The article describes the production line and the stages of processing of information recorded with the help of general purpose video cameras. Automated processing of trajectory data, regardless of the type of measuring tool used, the media, and the requirements of the processing task, is performed in four stages. The first stage is the preliminary processing of measurement data. This stage is the most labor intensive and less automated. Time and labor costs for solving the tasks of this stage make up 60% of the total costs of the information processing. The second stage is the preliminary data preparation. At this stage, the measurement data is prepared and reduced to a form suitable for processing programs. Time and labor costs at this stage are 4–10% of the total costs of the technological process. The third stage is data processing. At this stage, the data is processed in accordance with the program with respect to the task. Time and labor costs at this stage range from 5 to 12% of all labor costs for processing and depend on the type of flight experiment. The fourth stage is the analysis of processing

results. At this stage, the processing results are analyzed, formalized and sent the customer. The stage is not automated; all operations are performed manually and take up 18–20% of the total costs of the processing. To determine the trajectory parameters of a test item, the direction finding method based on the synchronous calculation of angular directions to the item based on the video information received from two video cameras is used. At the same time, algorithms for determining angular directions to reference points, calculating the focal length of video cameras, determining the position of the optical axes of video cameras and determining the rectangular coordinates of the item are implemented. The technological line for processing trajectory data includes application software which consists of: video processing software; programs for calculating the true angular directions to the item and its coordinates. The use of video of system of registration based on general purpose video cameras, as well as production lines of information processing recorded by such systems in flight tests, allows to obtain not only qualitative, but also quantitative assessments of the processes which the test item is subject to, which ultimately increases the level of information support of the test process.

Ключевые слова: системы регистрации, технологические линии обработки информации, фокусное расстояние, положение оптической оси, угловые направления, прямоугольные координаты.

Keywords: system of registration, technological lines of information processing, focal length, position of the optical axis, angular directions, rectangular coordinates

Введение

Одним из приоритетных направлений повышения качества испытаний авиационной техники и вооружения (АТ и В) является совершенствование информационного обеспечения испытаний. В последние годы быстрый прогресс боевой авиационной техники обусловил тенденцию к всестороннему сокращению сроков 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 [Чернухин, 1994; Лобейко и др., 2018].

При любых испытаниях всех видов АТ и В основное внимание уделяется первичному получению информации от объекта испытаний и ее последующей обработке с целью получения его объективной оценки. При этом в большинстве случаев основополагающими являются внешнетраекторные измерения. Они занимают особое место в процессе испытаний и используются для оценки практически всех авиационных комплексов.

В настоящее время существуют различные системы для выполнения внешнетраекторных измерений [Чупахин, Савин, 2014; Серeda, Могильников 2014; Мацыкин и др., 2012; Князь, 2015; Есев, Лагойко, 2015; Додонов, Путятин, 2017]. Важное место среди этих систем занимают системы, работающие в оптическом диапазоне, являющиеся наиболее точными из них. Однако их доставка на необорудованные такими средствами боевые поля временных полигонов на расстояния в сотни километров, в условиях бездорожья, может привести к сокращению сроков их эксплуатации. Также возникают проблемы при организации и выполнении регистрации 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 существующих оптических средств траекторных измерений, например, горная или труднопроходимая местность и определенные режимы работы [Коломиец и др., 2010; Шибанов, 2018].

Поэтому при проведении испытаний образцов АТ и В настоятельно требуется применение новых мобильных оптических систем измерений, которые должны оперативно разворачиваться в заданном районе, иметь автоматический режим подготовки к регистрации и небольшое количество обслуживающего персонала. Такой системой является система регистрации на базе видеокамер общего назначения. Задача автоматизированной обработки траекторной информации, полученной с помощью системы регистрации на ба-

зе видеокамер общего назначения, становится актуальной в информационном обеспечении испытаний образцов АТ и В [Митрофанов и др., 2014].

Автоматизированная обработка траекторной информации независимо от вида применяемого измерительного средства, носителя информации и требований задания на обработку выполняется в четыре этапа. Структура технологической линии обработки данных средств траекторных измерений представлена на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая линия обработки данных средств траекторных измерений
Fig. 1. Technological line for data processing of trajectory measurements

Первый этап – предварительная обработка измерительной информации. Этот этап является наиболее трудоемким и менее автоматизированным. Временные и трудовые затраты на решение задач данного этапа составляют 60% всех затрат технологического процесса обработки информации. Этот этап включает следующие операции:

- изучения задания на обработку и постановки задач исполнителям;
- получения материалов измерений;
- изучения протоколов работ измерительных средств и системы единого времени;
- анализа качества измерений;
- увязки материалов измерений в едином времени и выбора участков обработки;
- подготовки исходных данных для программ обработки.

Исходные данные для программ обработки содержат сведения о:

- системе координат, в которой производится определение текущих координат объектов;
- привязке измерительных средств;
- времени начала и конца обрабатываемого участка;
- шаге обработки;
- количестве определяемых параметров;
- степени сглаживающих полиномов и количестве точек, по которым производится сглаживание и т. д.

Второй этап – предварительная подготовка данных. На этом этапе измерительная информация подготавливается и приводится к виду, удобному для программ обработки. Временные и трудовые затраты на данном этапе составляют 4–10% всех затрат технологического процесса обработки.

Третий этап – обработка данных. На этом этапе осуществляется обработка по программам в соответствии с заданием. Временные и трудовые затраты на данном этапе составляют от 5 до 12 % всех трудозатрат на обработку и зависят от типа летного эксперимента.

Четвертый этап – анализ результатов обработки. На этом этапе выполняется анализ результатов обработки, их оформление и отправка заказчику. Этап не автоматизирован,

все операции выполняются вручную и занимают 18–20 % от общих затрат технологического процесса обработки.

Операции четвертого этапа процесса обработки трудно формализуются, выполнение этих операций требует творческого подхода и привлечения специалистов высокой квалификации [Волотов и др., 2016; Меркулов, Харьков, 1998; Гумаров и др., 2017; Луцков, Чупахин, 2014, Серeda, 2014; Степанов и др., 2018].

Автоматизированная обработка траекторной информации системы регистрации на базе видеокамер общего назначения осуществляется в послеполетном режиме на автоматизированном рабочем месте, входящем в состав технологической линии обработки. В состав этой технологической линии входит также и прикладное программное обеспечение, которое решает задачу определения прямоугольных координат объекта испытаний в заданной системе координат и состоит из: программы обработки видеоизображения; программы расчёта истинных угловых направлений на объект и его координат.

Входными данными для обработки по программе обработки видеоизображения являются видеоизображения объекта и ориентиров. Для программы расчёта истинных угловых направлений на объект и его координат входными данными являются геодезические координаты ориентиров, массивы координат объекта и ориентиров, полученные на кадрах видеоизображения.

Для определения траекторных параметров объекта испытаний используется пеленгационный метод определения траектории объекта, основанный на синхронном вычислении угловых направлений на объект по видеоинформации двух видеокамер. При этом реализованы алгоритмы:

- определения угловых направлений на ориентиры [Волотов, Халютин, 2012];
- вычисления фокусного расстояния видеокамер [Волотов, 2012];
- определения положения оптических осей видеокамер;
- определения прямоугольных координат объекта.

Полный цикл обработки информации, зарегистрированной видеокамерами общего назначения, представлен на рис. 2.



Рис. 2. Этапы обработки информации, зарегистрированной с помощью системы видеорегистрации на базе видеокамер общего назначения

Fig.2. Stages of processing information registered with a video registration system based on general purpose video cameras

На этапе предварительной обработки измерительной информации оператор производит количественную и качественную оценку входных видеоданных путем просмотра зарегистрированных материалов. При этом проверяются наличие, полнота информации в соответствии с заданием на обработку, 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.

На этапе предварительной подготовки данных при работе с видеoinформацией оператор, используя программу обработки видеоизображения, указывает координаты ориентиров и объекта на изображении видеокадра.

На этапе обработки оператор при помощи программы расчета истинных угловых направлений на объект и его координат определяет фокусные расстояния 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.

На этапе анализа результатов обработки оператор экспертным путем анализирует полученные результаты обработки с учетом априорных данных о летном эксперименте и данных полигонных листов. На основании проведенного анализа результатов обработки делаются выводы о достоверности полученных данных, осуществляется вывод полученных данных на печать.

Таким образом, использование в практике летных испытаний систем видеорегистрации на базе видеокамер общего назначения, а также технологических линий обработки информации, зарегистрированной такими системами, позволяет получать не только качественные, но и количественные оценки процессов, происходящих с объектом испытаний, что в конечном итоге повышает уровень информационного обеспечения процесса испытаний.

Список литературы References

1. Волотов Е.М. 2012. Метод определения фокусного расстояния видеокамеры при оценке летно-технических характеристик летательного аппарата. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, Пенза: Пензенский государственный университет, 4: 76–83.

Volotov E.M. 2012. Metod opredeleniya fokusnogo rasstoyaniya videokamery pri ocenke letno–tehnicheskikh harakteristik letatel'nogo apparata [Method of determination of focal length of the video camera at assessment of flight technical characteristics of the aircraft]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki, 4: 76–83. (in Russian)

2. Волотов Е.М., Тишлиев А.В., Митрофанов Е.И., Митрофанов И.В. 2016. Аттестация оптических средств траекторных измерений следящего типа. Журнал Автоматизация. Современные технологии, Москва: Инновационное машиностроение, 12: 25–29.

Volotov E.M., Tishliev A.V., Mitrofanov E.I., Mitrofanov I.V. 2016. Attestaciya opticheskikh sredstv traektornyh izmerenij sledyashchego tipa [Certification of optical means of trajectory measurements of the watching type] Zhurnal Avtomatizaciya. Sovremennye tekhnologii, 12: 25–29. (in Russian)

3. Волотов Е.М., Халютин С.П. 2012. Метод определения направлений на объект при использовании видеосредств. Журнал Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, Москва: Московский государственный технический университет гражданской авиации: 185(11): 69–76.

Volotov E.M., Halyutin S.P. 2012. Metod opredeleniya napravlenij na ob"ekt pri ispol'zovanii videosredstv [A method of definition of the directions on an object when using video means]. Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii, 185(11): 69–76. (in Russian)

4. Гумаров С.Г., Золотов О.К., Волотов Е.М., Митрофанов И.В. 2017. Определение погрешности измерений, минимизирующей ошибки первого и второго рода. Журнал Автоматизация. Современные технологии. 71(1): 37–41.

Gumarov S.G., Zolotov O.K., Volotov E.M., Mitrofanov I.V. 2017. Opredelenie pogreshnosti izmerenij, minimiziruyushchej oshibki pervogo i vtorogo roda [Definition of the error of measurements minimizing errors of the first and second sort]. Avtomatizaciya. Sovremennye tekhnologii, 71 (1): 37–41. (in Russian)

5. Додонов А.Г., Путятин В.Г. 2017. Наземные оптические, оптико-электронные и лазерно-телевизионные средства траекторных измерений. Математичні машини і системи: 4.

Dodonov A.G., Putyatin V.G. 2017. Nazemnye opticheskie, optiko-ehlektronnye i lazerno-televizionnye sredstva traektornyh izmerenij [Land optical, optical-electronic and laser and television means of trajectory measurements]. Matematichni mashini i sistemi, 4. (in Russian)

6. Есев А.А., Лагойко О.С. 2015. Методика автоматизированной обработки изображений в авиационных системах визуального мониторинга внекабинной обстановки. Программные системы и вычислительные методы, 1: 79–88.

Yesev A.A., Lagoyko O.S. 2015. Metodika avtomatizirovannoy obrabotki izobrazheniy v aviatsionnykh sistemakh vizual'nogo monitoringa vnekabinnoy obstanovki. Programmnyye sistemy i vychislitel'nyye metody [Methods of automated image processing in aviation systems for visual monitoring of extra-cabin conditions], 1: 79–88. (in Russian)

7. Князь В.А. 2015. Оптическая система захвата движения для анализа и визуализации трехмерных процессов. В сборнике: ГРАФИКОН'2015 Труды Юбилейной 25-й Международной научной конференции, 232–236.

Knyaz' V.A. 2015. Opticheskaya sistema zahvata dvizheniya dlya analiza i vizualizatsii trekhmernykh processov [The optical system of occupation of the movement for the analysis and visualization of three-dimensional processes]. V sbornike: GRAFIKON'2015 Trudy Yubilejnoj 25-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii [GRAPHICON '2015 Works of the Anniversary 25th International scientific conference], 232–236. (in Russian)

8. Коломиец Л.В., Федоров М.В., Богомолов А.В., Мережко А.Н., Солдатов А.С., Есев А.А. 2010. Метод поддержки принятия решений по управлению ресурсами при испытаниях авиационной техники. Информационно-измерительные и управляющие системы, 8–5: 38–40.

Kolomiyets L.V., Fedorov M.V., Bogomolov A.V., Merezko A.N., Soldatov A.S., Yesev A.A. 2010. Metod podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu resursami pri ispytaniyakh aviatsionnoy tekhniki [Resource management decision support method for aircraft testing]. Informatsionno-izmeritel'nyye i upravlyayushchiye sistemy, 8–5: 38–40. (in Russian)

9. Лобейко В.И., Кудряшов А.А., Горемыкин С.А., Князев С.А. 2018. Система объективного контроля – основа инновационной системы полигонных испытаний средств Воздушно-космических сил. Вестник воздушно-космической обороны. 3–19: 17–24.

Lobeyko V.I., Kudryashov A.A., Goremykin S.A., Knyazev S.A. 2018. Sistema ob'yektivnogo kontrolya – osnova innovatsionnoy sistemy poligonnykh ispytaniy sredstv vozdushno-kosmicheskikh sil [The system of objective control is the basis of the innovative system of ground testing of aerospace forces]. Vestnik vozdushno-kosmicheskoy oborony. 3–19: 17–24. (in Russian)

10. Луцков Ю.И., Чупахин А.П. 2014. Погрешности видеоаппаратуры при проведении траекторных измерений. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 9–1: 120–126.

Luckov Yu.I., Chupahin A.P. 2014. Pogreshnosti videoapparatury pri provedenii traektornyh izmerenij [Video equipment errors when carrying out trajectory measurements]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 9–1: 120–126. (in Russian)

11. Меркулов В.И., Харьков В.П. Оптимизация радиоэлектронных систем управления. методы и алгоритмы синтеза оптимального управления (обзор). 1998. Радиотехника, 9: 2–24.

Merkulov V.I., Khar'kov V.P. Optimizatsiya radioelektronnykh sistem upravleniya. metody i algoritmy sinteza optimal'nogo upravleniya (obzor) [Optimization of electronic control systems. methods and algorithms for optimal control synthesis (review)]. 1998. Radiotekhnika, 9: 2–24. (in Russian)

12. Мацыкин С.В., Осипов В.В., Савилкин С.Б. 2012. Применение концепции виртуальных систем для решения задач оптических траекторных измерений. Авиационная промышленность. 3: 1.

Macykin S.V., Osipov V.V., Savilkin S.B. 2012. Primenenie koncepcii virtual'nyh sistem dlya resheniya zadach opticheskikh traektornyh izmerenij [Application of the concept of virtual systems for the

solution of problems of optical trajectory measurements]. *Aviacionnaya promyshlennost'*, 3: 1. (in Russian)

13. Митрофанов Е.И., Волотов Е.М., Ефимов Н.А., Митрофанов И.В. 2014. Система обработки информации материалов видеорегистрации при испытаниях образцов авиационной техники и вооружения. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза: Пензенский государственный университет, 2: 10–15.

Mitrofanov E.I., Volotov E.M., Efimov N.A., Mitrofanov I.V. 2014, Sistema obrabotki informacii materialov videoregistracii pri ispytaniyah obrazcov aviacionnoj tekhniki i vooruzheniya [The system of information processing of materials of video registration at tests of samples of the aircraft equipment and arms]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Works of the international symposium «Reliability and quality», 2: 10–15. (in Russian)

14. Середя Н.В., Могильников Н.В. 2014. Определение параметров углового движения мины по результатам видеосъемки начального участка траектории. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 12–1: 33–40.

Sereda N.V., Mogil'nikov N.V. 2014. Opredelenie parametrov uglovogo dvizheniya miny po rezul'tatam videos'emki nachal'nogo 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 Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 12–1: 33–40. (in Russian)

15. Середя Н.В. 2014. Оценка точности определения углового положения мины по результатам видеосъемки начального участка траектории. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 12–1: 41–45.

Sereda N.V. 2014. Ocenka tochnosti opredeleniya uglovogo polozheniya miny po rezul'tatam videos'emki nachal'nogo 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 Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 12–1: 41–45. (in Russian)

16. Степанов В.С., Комаров Д.Б., Прокофьева А.С., Драган С.П., Богомолов А.В., Дёшин И.А., Фомина Т.В. 2018. Лазерные технологии в задачах обеспечения военной безопасности. Стратегическая стабильность. 84–3: 16–21.

Stepanov V.S., Komarov D.B., Prokof'yeva A.S., Dragan S.P., Bogomolov A.V., Doshin I.A., Fomina T.V. 2018. Lazernyye tekhnologii v zadachakh obespecheniya voyennoy bezopasnosti [Laser technology in the tasks of ensuring military security]. *Strategicheskaya stabil'nost'*. 84–3: 16–21. (in Russian)

17. Чернухин В.Н. 1994. Основы испытаний авиационной техники. Часть вторая. В.Н. Чернухин, Ю.В. Новокшенов, С.И. Пляскота. М.: Издание ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 334.

Chernuhin V.N., Novokshonov Yu.V., Plyaskota S.I. 1994. Osnovy ispytaniy aviacionnoj tekhniki. Chast' vtoraya. [Basics of aeronautical engineering testing. Part two] М.: Izdanie VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 334. (in Russian)

18. Чупахин А.П., Савин М.Л. 2014. Оценка скорости полета малых летательных аппаратов с помощью видеоаппаратуры. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 9–1: 126–130.

Chupahin A.P., Savin M.L. 2014. Ocenka skorosti poleta malyh letatel'nykh apparatov s pomoshch'yu videokapparatury [Otsenka of the speed of flight small flying devices by means of a videokapparatura]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 9–1: 126–130. (in Russian)

19. Шибанов Г.П. 2018. Учет ошибок первичных преобразователей при контроле параметров полета летательного аппарата и диагностике его бортового оборудования. Мехатроника, автоматизация, управление. 19–2: 134–138.

Shibanov G.P. 2018. Uchet oshibok pervichnykh preobrazovateley pri kontrole parametrov poleta letatel'nogo apparata i diagnostike yego bortovogo oborudovaniya [Accounting for the errors of the primary transducers when monitoring the flight parameters of the aircraft and diagnosing its on-board equipment]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye*. 19–2: 134–138. (in Russian)