

**АВИАЦИЯ ♦ РАКЕТНАЯ ТЕХНИКА ♦ КОСМОНАВТИКА**

Орган Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского  
и Академии наук авиации и воздухоплавания

Журнал выходит ежемесячно  
Выпускается с августа 1998 г.

**Г.В. НОВОЖИЛОВ** – главный редактор,  
академик РАН

Члены  
редакционной  
коллегии

**А.А. АЛЕКСАНДРОВ**,  
д.т.н., проф.  
**А.П. АЛЕКСАНДРОВ**,  
к.т.н., летчик-космонавт  
**Б.С. АЛЕШИН**,  
академик РАН  
**Б.В. БАЛЬМОНТ**,  
академик РАКЦ  
**М.В. ГОРДИН**  
**В.Г. ДМИТРИЕВ**,  
чл.-кор. РАН  
**Б.И. КАТОРГИН**,  
академик РАН, проф.  
**А.А. ЛЕОНОВ**,  
к.т.н., летчик-космонавт  
**А.М. МАТВЕЕНКО**,  
академик РАН, проф.  
**С.В. МИХЕЕВ**,  
академик РАН  
**Н.Ф. МОИСЕЕВ**, к.т.н.  
**М.А. ПОГОСЯН**,  
академик РАН, проф.  
**И.Б. ФЕДОРОВ**,  
академик РАН  
**Е.А. ФЕДОСОВ**,  
академик РАН, проф.  
**В.В. ХАРТОВ**,  
д.т.н., проф.  
**С.Л. ЧЕРНЫШЕВ**,  
академик. РАН, проф.

Редактор-организатор  
**О.С. РОДЗЕВИЧ**  
Ответственный секретарь  
**О.Г. КРАСИЛЬНИКОВА**  
Спец. корреспондент  
**В.П. ЛОСИЦКИЙ**

Редакционный совет

**А.М. МАТВЕЕНКО**,  
председатель редсовета,  
академик РАН, проф.  
**О.М. АЛИФАНОВ**,  
чл.-кор. РАН, проф.  
**И.В. БАРМИН**,  
чл.-кор. РАН, проф.  
**В.Е. БАРСУК**, д.т.н.  
**В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ**,  
д.т.н., проф.  
**О.Ф. ДЕМЧЕНКО**, к.э.н.  
**Н.Н. ДОЛЖЕНКОВ**, д.т.н.  
**С.Ю. ЖЕЛТОВ**,  
академик РАН  
**Л.М. ЗЕЛЕНый**,  
академик РАН, проф.  
**А.Н. КИРИЛИН**, д.т.н.  
**В.А. КОМАРОВ**, д.т.н.  
**А.А. КОРОТЕЕВ**,  
академик РАН  
**В.П. ЛОСИЦКИЙ**, инж.  
**Л.Н. ЛЫСЕНКО**,  
д.т.н., проф.  
**А.П. МАНИН**, д.т.н.  
**К.М. ПИЧХАДЗЕ**,  
д.т.н., проф.  
**С.С. ПОЗДНЯКОВ**, инж.  
**В.Г. СВЕТЛОВ**, д.т.н.  
**А.Н. СЕРЬЕЗНОВ**, д.т.н.  
**В.П. СОКОЛОВ**,  
д.т.н., проф.  
**В.А. СОЛОВЬЕВ**,  
чл.-кор. РАН, проф.,  
летчик-космонавт  
**В.В. ШАЛАЙ**,  
д.т.н., проф.  
**В.А. ШАТАЛОВ**,  
летчик-космонавт

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Манин А.П., Васильев В.В., Джуган Р.В., Соколюк В.Л., Фокин А.И.** Панорамные оптические средства наблюдения беспилотных летательных аппаратов ..... 3

**Ахрамович С.А., Малышев В.В., Старков А.В.** Математическая модель движения беспилотного летательного аппарата в бикватернионной форме ..... 9

**Тарасов А.Т., Петухов С.В., Латышов Р.А.** Крылатый космодром для туристической многоразовой авиационно-космической системы ..... 21

**Горовцов В.В., Жиряков А.В., Теплепнев П.П., Петров Ю.А., Берников А.С., Макаров В.П.** Исследование динамики раскрытия трансформируемых конструкций в процессе проведения испытаний ..... 30

**Шеваль В.В., Рожнин Н.Б.** Формирование структуры бортовой системы сопровождения при плоском представлении полета ..... 39

**Шибанов Г.П.** Система возбуждения тактового генератора автоматических средств контроля летательных аппаратов ..... 46

**Палкин М.В., Лавренов А.Н.** Приложения системного подхода при управлении группировками космических аппаратов ..... 51

**Безъязычный В.Ф., Растегаев Е.В.** Теоретические положения по организации параллельной инженерной разработки в производстве газотурбинных двигателей ..... 58

**Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней.**

*Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей. За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель. Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается. Аннотации статей журнала и требования к оформлению предоставляемых авторами рукописей приведены на сайте <http://ros-polet.ru>*

Учредитель и издатель  
ООО «Машиностроение–Полет»

© ООО «Машиностроение–Полет», 2018

Адрес редакции: 107076, РФ, г. Москва, Стромьинский пер., 4  
Телефон: 8 (499) 269-54-97; +7-926-916-03-58  
Адрес электронной почты: [rosपोlet@mail.ru](mailto:rosपोlet@mail.ru)  
Адрес в интернете: <http://ros-polet.ru>



AVIATION ♦ ROCKET TECHNOLOGY ♦ COSMONAUTICS

Journal of Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky  
and Academy of Aviation and Aeronautics Sciences

The journal is issued monthly  
Published since August 1998

**G.V. NOVOZHILOV** —  
Editor-in-Chief, Acad., RAS

**Board  
Members of Editorial**

A.A. ALEKSANDROV,  
Dr. Sci. (Eng.)

A. P. ALEKSANDROV,  
Cand. Sci. (Eng.), Prof.,  
Pilot-Cosmonaut

B. S. ALESHIN,  
Acad., RAS

B.V. BALMONT,  
Member, RACTs.

M.V. GORDIN,

V.G. DMITRIYEV,  
Corresp. Member, RAS

B.I. KATORGIN,  
Acad., RAS, Prof.

A.A. LEONOV,  
Cand. Sci. (Eng.),  
Pilot-Cosmonaut

A.M. MATVEYENKO,  
Acad., RAS, Prof.

S.V. MIKHEYEV,  
Acad., RAS

N.F. MOISEEV,  
Cand. Sci. (Eng.)

M.A. POGOSYAN,  
Acad., RAS, Prof.

I.B. FEDOROV,  
Acad., RAS

E.A. FEDOSOV,  
Acad., RAS, Prof.

V.V. KHARTOV,  
Dr. Sci. (Eng.), Prof.

S.L. CHERNYSHEV,  
Acad., RAS, Prof.

Editor Organizer  
O.S. RODZEVICH

*Responsible Secretary*  
O.G. KRASILNYKOVA

*Reporter*  
V.P. LOSITSKY

**Members of Editorial  
Committee**

A.M. MATVEYENKO,  
Chair of Edit. Committee

O.M. ALIFANOV,  
Corresp. Member, RAS, Prof.

I.V. BARMIN,  
Corresp. Member, RAS, Prof.

V.E. BARSUK,  
Cand. Sci. (Eng.)

V.F. BEZYAZYCHNYI,  
Dr. Sci. (Eng.), Prof.

O.F. DEMCHENKO,  
Cand. Sci. (Econ.)

N.N. DOLZHENKOV,  
Dr. Sci. (Eng.)

S.Yu. ZHELTOV, Acad. RAS

L.M. ZELENY,  
Acad., RAS, Prof.

A.N. KIRILIN, Dr. Sci. (Eng.)

V.A. KOMAROV,  
Dr. Sci. (Eng.), Prof.

A.A. KOROTEYEV, Acad., RAS

V.P. LOSITSKY, Eng.

L.N. LYSENKO,  
Dr. Sci. (Eng.), Prof.

A.P. MANIN, Dr. Sci. (Eng.)

K.M. PICHKHADZE,  
Dr. Sci. (Eng.), Prof.

S.S. POZDNYAKOV, Eng.

V.G. SVETLOV, Dr. Sci. (Eng.)

A.N. SERYOZNOV,  
Dr. Sci. (Eng.)

V.P. SOKOLOV,  
Dr. Sci. (Eng.), Prof.

V.A. SOLOV'EV,  
Corresp. Member, Prof., RAS,  
Pilot-Cosmonaut

V.A. SHATALOV,  
Pilot-Cosmonaut

**CONTENTS**

**Manin A.P., Vasiliev V.V., Djugan R.V., Sokoluk V.L., Fokin A.I.**  
Panoramic Optical Surveillance Drones..... 3

**Akhramovich S.A., Malyshev V.V., Starkov A.V.** A Mathematical  
Model Of The Motion Of An Unmanned Aerial Vehicle In A Dual  
Quaternions ..... 9

**Tarasov A.T., Petukhov S.V., Latyshov R.A.** Flying Cosmodrome  
For Touristic Reusable Aerospace Systems..... 21

**Gorovtsov V.V., Zhiryakov A.V., Telepnev P.P., Petrov Yu.A.,  
Bernikov A.S., Makarov V.P.** Dynamic Analysis Of Transformable  
Structures Expanding During Testing ..... 30

**Sheval V.V., Rozhnin N.B.** Formation Of The Structure Of The  
Airboard System Escorts At Flat Representation Of Flight..... 39

**Shibanov G.P.** The System Of Exciter Clock Pulse-Generator  
Of Automation Of Facility Check Of Aircraft ..... 46

**Palkin M.V., Lavrenov A.N.** Applications Of A System Approach  
For A Satellite Formation Flying Control ..... 51

**Bezhyazichny V.F., Rastegaev E.V.** About The Development  
Of Theoretical Provisions During Organization Of Manufacture Of  
Parallel Engineering Of Gas Turbine Engines..... 58

*The journal is in the list of editions, authorized by the Supreme  
Certification Committee of the Russian Federation to publish the works  
of those applying for a scientific degree.*

*Viewpoints of authors of papers do not necessarily represent the Editorial  
Staff's opinion. Post-graduates have not to pay for the publication of articles.  
Annotations of magazine articles and features required of author manuscript  
desing are available at Internet Site <http://ros-polet.ru>*

The Fonder and publisher of a magazine:  
Ltd Co «Mashinostroenie – Polyot»

© Ltd Co «Mashinostroenie – Polyot», 2018

**Address of the editorial office:** 107076, Moscow, Stromynsky per., 4  
**Phone:** 8(499)269-54-97; +7-926-916-03-58  
**E-mail:** [rospolet@mail.ru](mailto:rospolet@mail.ru)  
**Website:** <http://ros-polet.ru>

УДК 535.317.2

## Панорамные оптические средства наблюдения беспилотных летательных аппаратов

*А.П. Манин, В.В. Васильев, Р.В. Джуган, В.Л. Соколюк, А.И. Фокин*

E-mail: vv-vasiliev@yandex.ru

*Рассматриваются особенности построения оптических средств обнаружения, идентификации и оценивания траектории движения беспилотных летательных аппаратов. Определяются свойства панорамных цифровых оптических теодолитов и математическая модель расчета пространственного положения оптических осей объективов и ориентации светочувствительных цифровых матриц.*

**Ключевые слова:** панорамный теодолит; цифровая матрица; оптическая ось; измерение; изображение; достоверность; беспилотный летательный аппарат.

**A.P. Manin, V.V. Vasiliev, R.V. Djugan, V.L. Sokoluk, A.I. Fokin.** Panoramic Optical Surveillance Drones

*Features of construction of optical means of detection, identification and estimation of trajectory of movement of UAV are considered. Define the properties for your panoramic digital optical theodolites and mathematical model for calculating the spatial position of the optical axis of the lens and the orientation of light-sensitive digital sensors.*

**Keywords:** panoramic theodolite; digital matrix; optical axis; measurement; image; reliability; unmanned aerial vehicle.

**О**бнаружение, идентификация и оценивание параметров траектории движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является актуальной задачей. Особенность БПЛА состоит в том, что они обладают малой эффективной площадью поверхности рассеяния, что затрудняет их обнаружение радиолокационными средствами. Поэтому наряду с радиолокационными станциями используется ряд других средств обнаружения и сопровождения, в частности радиотехнические средства обнаружения БПЛА как источника радиообмена информацией, а также оптические средства видимого и инфракрасного диапазонов.

Оптические средства отличаются свойством высокоточного определения параметров траектории движения. В оптическом диапазоне эффективная площадь поверхности рассеяния БПЛА существенно выше. Для обнаружения используются и другие особенности оптического диапазона (собственное излучение энергии, энергетические контрасты БПЛА и окружающей среды и др.).



**МАНИН**

Анатолий Платонович – генеральный директор – главный конструктор научно-производственного центра «Арминт», доцент, доктор техн. наук



**ВАСИЛЬЕВ**

Владимир Владимирович – главный научный сотрудник научно-производственного центра «Арминт», профессор, доктор техн. наук



**ДЖУГАН**

Руслан Васильевич – заместитель генерального директора по разработке и производству научно-производственного центра «Арминт»



**СОКОЛЮК**

Виктор Леонидович – заместитель генерального директора по научной работе научно-производственного центра «Арминт», старший научный сотрудник, доктор техн. наук



**ФОКИН**

Андрей Иванович – руководитель направления ФЦНИВТ «СНПО «Элерон»

Совместное применение этих методов позволяет повысить достоверность обнаружения и идентификации объекта по признакам подвижного объекта.

Следует выделить особый случай, когда объект движется вдоль постоянного пеленга (на теодолит). На изображении такой объект неподвижен. Но если учесть, что оценивание движения БПЛА возможно при использовании двух и более разнесенных в пространстве теодолитов, то это препятствие преодолевается при совместном анализе информации.

Итак, к настоящему времени существуют технические и математические средства для решения задач обнаружения, идентификации и оценки параметров траектории движения БПЛА. Описанные методические и математические приемы позволяют увеличивать достоверность и точность вычисления параметров движения БПЛА, необходимые для воздействия на них в случае нарушения ими условий допустимого движения.

#### Библиографический список

1. Васильев В.В., Джуган Р.В., Манин А.П., Соколов В.Л. Возможности повышения точности определения навигационных параметров систем обеспечения посадок самолетов // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 2017. № 11–12. С. 26–30.
2. Манин А.П., Васильев В.В., Трубицын А.С., Аношкин А.В. Электронно-цифровое устройство измерения угловых координат: Пат. 2343407 от 10 января 2009 г. МПК G01C 1/02 . (2006.1). Заявка № 200703902/28 от 01.02.2007; Оpubл. 10.01.2009 // Бюл. 2009. № 1.
3. Манин А.П., Васильев В.В., Орловский В.П. Электронно-цифровое устройство измерения угловых координат быстро движущихся объектов. Пат. 2324199 от 10 мая 2008 г. МПК G01S 7/40.(2006.1). Заявка № 2006138045/28 от 30.10.2006; Оpubл. 10.05.2008 // Бюл. 2008. № 13.
4. Манин А.П., Васильев В.В., Малахов А.Н. Электронно-цифровое устройство измерения угловых координат с дифференциальной и интегральной селекцией подвижных объектов наблюдения: Пат. 2561310 от 5 марта 2014 г. МПК G01C 1/02. (2006.1). Заявка № 20108683/28 от 05.03.2014; Оpubл. 27.08.2015 // Бюл. 2015. № 13.

Издательство «Машиностроение – Полет»  
и Научно-производственный испытательный  
центр «Арминт» представляют книгу

### «Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов»

Авторы:

Ю.Г. Булычев, В.В. Васильев, Р.В. Джуган, С.С. Кукушкин,  
А.П. Манин, С.В. Мацыкин, И.Г. Насенков,  
А.Ю. Потюпкин, Д.М. Челахов

под общей редакцией докторов технических наук  
А.П. Манина и В.В. Васильева



В книге изложены концептуальные вопросы организации информационно-измерительного обеспечения испытаний, дано обоснование единого подхода к организации информационно-измерительного обеспечения сложных технических объектов. Задачи испытания рассмотрены с

позиций системного анализа сложных объектов. Даны современные подходы к разрешению основных противоречий информационно-телеметрического обеспечения испытаний сложных объектов, в частности новые технологии повышения помехоустойчивости при передаче телеметрируемых параметров без введения избыточности на основе образов остатков. Изложены современный подход инвариантно-регуляризованного оценивания параметров движения летательных аппаратов в условиях структурно-параметрической неопределенности, методы оптимального оценивания параметров движения цели в триангуляционной измерительной системе, к которым относятся оптические средства информационно-измерительного обеспечения испытаний.

Книга предназначена для специалистов, работающих в области испытаний сложных технических систем.

По вопросам приобретения  
следует обращаться в издательство  
«Машиностроение–Полет»

Телефоны для справок:

8 926-916-03-58; 8-499-269-54-97

УДК 629.735

## Математическая модель движения беспилотного летательного аппарата в бикватернионной форме

С.А. Ахрамович, В.В. Малышев, А.В. Старков

E-mail: akhramovichsa@gmail.com; veniaminmalyshev@mail.ru; starkov@goldstar.ru

*Рассматриваются динамическая и кинематическая модели вращательного и поступательного движений беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в бикватернионной форме. Доказана лемма о представлении классических динамических уравнений движения БПЛА в бикватернионной форме. Для подтверждения полученной математической модели проведено математическое моделирование полета малого БПЛА.*

**Ключевые слова:** БПЛА; пароплан; парашют; кватернион; бикватернион; дуальные числа; математическая модель.

**S.A. Akhramovich, V.V. Malyshev, A.V. Starkov.** A Mathematical Model Of The Motion Of An Unmanned Aerial Vehicle In A Dual Quaternions

*Consider dynamic and kinematic models of the rotational and translational motion of a UAV in a dual quaternion. The lemma on the representation of the classical dynamic equations of motion of a UAV in a dual quaternion form is proved. To confirm the obtained mathematical model, a mathematical simulation of the flight of a small UAV was carried out.*

**Keywords:** UAV; paraglider; parachute; quaternion; dual quaternion; dual numbers; mathematical model.

Для решения задач управления летательными аппаратами (ЛА) в первую очередь определяют их математическую модель. Математическая модель должна описывать движение центра масс ЛА в пространстве и движение вокруг центра масс. Как правило, движение и положение ЛА описывается с помощью динамических и кинематических дифференциальных уравнений, в которых установлены связи между положениями и скоростями ЛА и связи между силами и их моментами, действующими на ЛА, а также количеством движения [1 – 3].

При данном подходе, чтобы описать полную математическую модель движения ЛА требуются 12 нелинейных дифференциальных уравнений. В статье предлагается использовать математический аппарат бикватернионов для описания движения беспилотного ЛА (БПЛА).

Кватернионы широко применяются в робототехнике, компьютерной графике, а также в аэрокосмической технике, например в задачах управления ЛА вокруг центра масс [4, 5].

Основное предназначение бикватернионов – это математическая формулировка и решение задач механики твердого тела в трехмерном про-



**АХРАМОВИЧ**  
Сергей Алексеевич – старший преподаватель Московского авиационного института (национального исследовательского университета)



**МАЛЫШЕВ**  
Вениамин Васильевич – заведующий кафедрой Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доктор техн. наук



**СТАРКОВ**  
Александр Владимирович – доцент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), кандидат техн. наук

**Вариант 2.** Моделируется полет БПЛА с постоянно включенным двигателем тяги  $F_P = (2; 0; 0)^T$ , Н, без управления по курсу ( $\delta_{\text{лев}} = 0; \delta_{\text{прав}} = 0$ ).

На рис. 6 видно, что БПЛА набирает высоту и вследствие возникновения крутящего момента воздушного винта отклоняется по курсу.

**Вариант 3.** Моделируется полет БПЛА с постоянно включенным двигателем тяги  $F_P = (2; 0; 0)^T$ , Н, и с управлением по курсу для компенсации крутящего момента винта и поворота вправо:  $\delta_{\text{лев}} = 0$ ; и  $\delta_{\text{прав}} = 5^\circ$  (рис. 7).

Итак, в данной статье получен и подтвержден математическим моделированием важный результат – использование бикватернионов для описания полной математической модели

движения БПЛА. Полученная математическая модель полностью описывает пространственное поступательное и вращательное движение БПЛА. Она состоит всего из двух уравнений: одно описывает динамику движения, а второе – кинематику. Бикватернионная форма записи оказалась более эффективна в вычислительном плане. Это дает преимущества перед другими моделями и позволяет использовать данную математическую модель для проведения вычислений на борту БПЛА.

Математическую модель в бикватернионной форме можно использовать в дальнейшем для синтеза управляющего воздействия (также в бикватернионном виде).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № 9.7505.2017/БЧ).*

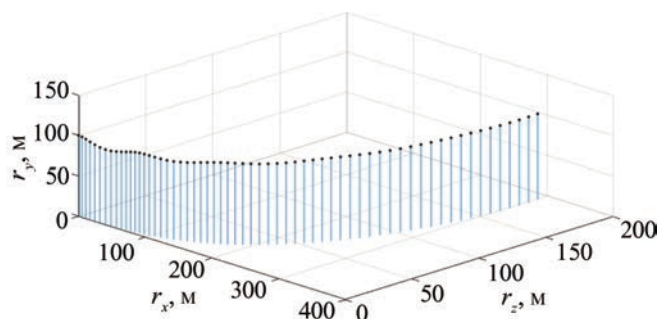


Рис. 6. Пространственная траектория полета БПЛА с включенным двигателем

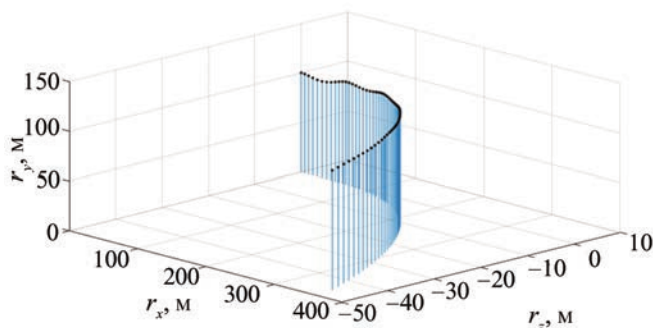


Рис. 7. Пространственная траектория полета БПЛА с включенным двигателем и управлением по курсу

#### Библиографический список

1. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика самолета. Пространственное движение. М.: Машиностроение, 1983. 320 с.
2. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1973. 616 с.
3. Биард Р.У., МакЛэйн Т.У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. М.: Техносфера, 2015. 312 с.
4. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. – М.: Наука, 1973. 320 с.
5. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. – М.: Физматлит, 2006. 512 с.
6. Гордеев В.Н. Кватернионы и бикватернионы с приложениями в геометрии и механике. Киев: Сталь, 2016. 316 с.

УДК 629.735

## Крылатый космодром для туристической многоразовой авиационно-космической системы

*А.Т. Тарасов, С.В. Петухов, Р.А. Латышов*

E-mail: svptu@mail.ru; rom-ex@mail.ru

*Рассмотрена возможность использования тяжелых транспортных самолетов в качестве первой ступени туристических многоразовых авиационно-космических систем. Представлен проект полностью сохраняемой многоцелевой авиационно-космической системы, где в качестве первой ступени используется тяжелый транспортный самолет Ил-96Т. Инновационный проект относится к новому направлению развития техники воздушно-космических систем.*

**Ключевые слова:** многоразовая авиационно-космическая система; многоцелевая авиационно-космическая система; космический туризм; летающий космодром; воздушный старт.

**A.T. Tarasov, S.V. Petukhov, R.A. Latyshov.** Flying Cosmodrome For Touristic Reusable Aerospace System

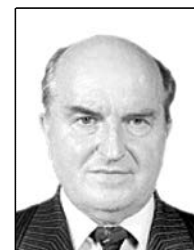
*Consider the problem of using heavy transport aircrafts the first stage of the touristic aerospace reusable systems. The presented project is stored multipurpose aerospace system, as the first stage uses heavy transport aircraft IL-96T. An innovative project relates in a new direction in the development of aerospace systems.*

**Keywords:** reusable aerospace system; multipurpose aerospace system; space tourism; flying cosmodrom; air start.

**Е**ще до полета Ю.А. Гагарина, в самом конце 1950-х гг., были споры о том, по какому пути будет развиваться космонавтика – ракетному или крылатому? Существовали проекты многоразовых воздушно-космических систем с крыльями и горизонтальным стартом (МВКС).

В начале 1970-х гг. вновь всколыхнулась волна проектов МВКС, в основном из-за большого потока полезных нагрузок, выводимых на низкую околоземную орбиту (спутники связи, военные разведывательные, геофизические, метеорологические, доставка оборудования и космонавтов на орбитальные станции и др.).

В частности, был предложен проект МВКС оригинальной аэродинамической схемы «диск в диске» с пакетным сочленением первой и второй ракетных ступеней, использующих преимущества полета в атмосфере как на траектории выведения, так и на этапе посадки при возвращении на Землю [1]. Развитием этой схемы послужила двухступенчатая система, разработанная в Московском авиационном институте под руководством академика



**ТАРАСОВ**  
Александр Тихонович –  
главный конструктор –  
(1976–2008 гг.)  
НПО «Молния»,  
заслуженный конструктор России,  
кандидат техн. наук



**ПЕТУХОВ**  
Сергей Васильевич –  
старший научный сотрудник  
Московского авиационного  
института (национального  
исследовательского университета),  
кандидат техн. наук



**ЛАТЫШОВ**  
Роман Александрович –  
студент Московского авиационного  
института (национального  
исследовательского университета)

Наибольший нагрев конструкции происходит на участке снижения. Начиная с 70 км и до высоты 50 км происходит интенсивный нагрев баков ВКС. В качестве конструкционных материалов можно использовать сетчатые композиционные конструкции [16, 17], где полностью реализуются высокие удельные (по отношению к плотности) характеристики прочности.

### Экспериментальный ЗМ – «Демонстратор»

Для исследования многочисленных проблем, связанных с реализацией проектов МАКС, и проведения натурных испытаний в начале 1990-х гг. в ОКБ имени В.М. Мясищева с участием ЦАГИ и НПО имени А.М. Люльки проводилась работа по созданию многоцелевого экспериментального носителя космических объектов ЗМ-«Демонстратор» на базе самолета ВМ-Т «Атлант» (рис. 5).

Предполагалось провести отработку воздушного запуска водородно-кислородного ЖРД с криогенными компонентами, а также исследовать динамику разделения ВКС и самолета-носителя.

Планировалось создание системы управления беспилотными ВКС на этапах выведения, спуска с орбиты и автоматической посадки и изучение технологии обслуживания многоцелевых систем выведения (стартовая масса ракетно-космического модуля 50 т, масса всей системы в сборке 165 т, максимальная скорость ракетного модуля в конце активного участка 2200 м/с ( $M=7$ )). Кроме того, «Демонстратор»

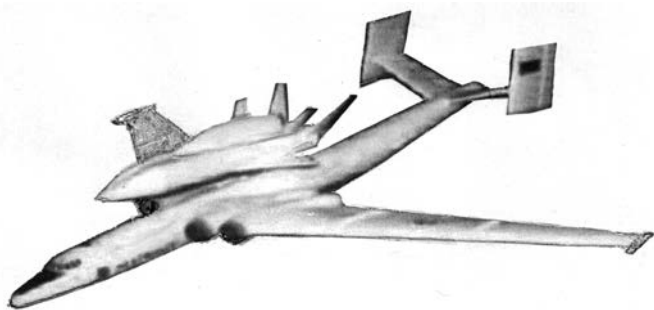


Рис. 5. Модель самолета ЗМ-«Демонстратор»

мог бы использоваться и для выведения на орбиту небольших коммерческих грузов и научной аппаратуры.

Помимо основного назначения – доставки туристов на НОО – с помощью МАКС-96Т можно выполнять различные грузовые перевозки, например, для доставки на МКС грузов общей массой 2,5 т. Это позволит отказаться от грузового космического корабля «Прогресс» (с массой полезного груза 2,3 т при начальной массе, равной 7 т) и тем самым существенно удешевить доставку материалов и оборудования на МКС. В промежутках между полетами на орбиту модернизированный двухкилевой самолет ВМ-Т может быть использован как грузовик для перевозки в контейнере различных материалов.

Итак, представлен вариант использования тяжелого транспортного самолета Ил-96Т в качестве самолета-носителя для полностью сохраняемой многоцелевой авиационно-космической системы. При этом использование безотходных экологически чистых технологий (без потери металлоемких ракет-носителей, дорогостоящих двигателей и систем управления) позволит снизить стоимость доставки грузов на орбиту. Реализация такого проекта возможна с использованием высокотехнологичных разработок НПО «Молния», примененных в транспортном самолете ЗМ-Т «Атлант», многоцелевом ЗМ-«Демонстраторе», космическом корабле «Буран» и проектах многоцелевых многоцелевых систем.

### Библиографический список

1. Аксенов Ю.В., Ильюшин В.С., Петухов С.В., Суханов М.В., Синегуб Г.А. Многоцелевая воздушно-космическая система. А. с. СССР 58069; В 64 G 1/00, 1975. Заявка №2165609/23, кл. Пат. СССР от 23.06.1992.
2. Тарасов А.Т., Кусков В., Новикова Е., Самсонов Д. Космическая горизонталь // Военно-промышленный курьер. 2015. № 40(606). С. 12.
3. Lozno-Lozinsky G.E., Skorodelov V.A., Plokhikh V.P. International Reusable Aerospace System MAKS. Present State of the Art and Perspectives // AIAA/DGLE Fifth International Aerospace Planes Hypersonics Technologies Conference, Munich, Germany, 1993.

4. **Скороделов В.А.** Многообразные авиационно-космические системы МАКС // Авиационно-космические системы: сб. М., 1997. С. 303–311.

5. **Шкадов Л.М., Плохих В.П., Бузулук В.И., Лозино-Лозинский Г.Е., Андреев Ю.В., Казаков М.И.** Многообразные космические транспортные системы горизонтального старта // Аэрокосмическая техника и технологии. 1999. № 1.

6. **Плохих В.П., Бузулук В.И.** Сравнение экономических показателей частично многообразной и полностью многообразной авиационно-космической систем // Проблемы создания перспективной авиационно-космической техники. М.: Физматлит, 2005. С.194–202.

7. **Плохих В.П., Бузулук В.И.** О перспективах развития многообразных систем выведения горизонтального старта // Проблемы создания перспективной авиационно-космической техники. М.: Физматлит, 2005. С. 92–106.

8. **Дудар Э.Н.** Многообразные аэрокосмические летательные аппараты и системы – особенности полета и решаемые задачи. URL: <http://buran.starjet.ru/dudar.htm>. М.: РАЕН, 2011. 4 с.

9. **Губанов Б.И.** Двигатели для многообразных систем. URL: <http://www.buran.ru/htm/40-3.htm>

10. **Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г., Ярошевский В.А.** Маневрирование космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1976. 416 с.

11. **Бехтир П.Т., Бехтир В.П.** Практическая аэродинамика самолета Ил-76Т // URL:<http://voennizdat.com/teh/avia/tehaveia212.pdf>. М.: Машиностроение, 1979.

12. **Скипенко В.В.** Оптимальное распределение массы между ступенями двухступенчатого самолета для максимизации крейсерской дальности // Уч. записки ЦАГИ. Т. XIII. Вып. № 1. 1982.

13. **Балашов В.В., Демешкина В.В., Леутин А.П.** Динамика и безопасность разделения ступеней авиационно-космических систем // Тр. XXXII чтений К.Э. Циолковского. Секция «Проблемы ракетной и космической техники». М.: ИИЕТ РАН, 1999. С. 133–142.

14. **Кобзев В.И., Ярошевский В.А.** Динамика полета аэрокосмических аппаратов // ЦАГИ – основные этапы научной деятельности 1968–1993 гг. М.: Наука – Физматгиз, 1996. С. 241–246.

15. **Ярошевский В.А.** Вход в атмосферу космических летательных аппаратов. М.: Наука, 1988.

16. **Васильев В.В., Разин А.Ф.** Перспективы применения сетчатых композитных конструкций в гражданской авиации // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 2016. № 11–12. С. 3–12.

17. **Барынин В.А., Бунаков В.А., Васильев В.В., Разин А.Ф.** Аэрокосмические сетчатые конструкции из композиционных материалов // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 1998. № 1. С. 40–42.



В то время, когда этот номер был в печати, пришло печальное известие – ушел из жизни один из авторов этой статьи Александр Тихонович Тарасов – выпускник МАИ (1949 г.), ученый в области конструирования ЛА, один из разработчиков и создателей легендарного «Бурана». Свой трудовой путь Александр Тихонович начал в ОКБ имени С.В. Ильюшина, затем работал в ОКБ имени В.М. Мясищева, ЦКБМ. С 1971 г. – он в МАИ, доцент кафедры строительной механики и прочности ЛА и одновременно заместитель заведующего кафедрой по научной работе. С 1976 г. работал в НПО «Молния»: главный прочнист конструкции планера орбитального корабля «Буран», главный конструктор, заместитель генерального конструктора.

Александра Тихоновича отличала прозорливость в принятии решений, сила духа, высокая работоспособность, он сообщал энергию окружающим и навсегда сохранится в памяти коллег.

## Исследование динамики раскрытия трансформируемых конструкций в процессе проведения испытаний

**ГОРОВОЦОВ Виктор Владимирович** – главный конструктор ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», кандидат техн. наук, **ЖИРЯКОВ Александр Владимирович** – ведущий специалист ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», **ТЕЛЕПНЕВ Петр Павлович** – начальник отдела ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», кандидат техн. наук, **ПЕТРОВ Юрий Александрович** – ведущий конструктор ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», кандидат техн. наук, **БЕРНИКОВ Антон Сергеевич** – инженер-конструктор 1-й категории ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», **МАКАРОВ Вячеслав Петрович** – начальник комплекса ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», кандидат техн. наук

E-mail: gorovtsov@laspace.ru; zhiryakovdep127180@laspace.ru; telepnev@laspace.ru; petrov@laspace.ru; bernikov@laspace.ru; makarov@laspace.ru

*Представлено исследование динамики раскрытия сложенных трансформируемых конструкций в процессе проведения испытаний. Разработана динамическая модель применительно к условиям испытаний. Определены кинематические параметры для сравнения результатов испытаний с результатами раскрытия механизмов в реальных условиях. Выполнены расчеты для различного трения в шарнирах с учетом углового положения аппарата при посадке на склон, даны рекомендации по выбору системы обезвешивания.*

**Ключевые слова:** система обезвешивания; испытания; звено механизма; узел вращения; коэффициент сухого трения; резиновый жгут; угловая скорость.

**V.V. Gorovtsov, A.V. Zhiryakov, P.P. Telepnev, Yu.A. Petrov, A.S. Bernikov, V.P. Makarov.** Dynamic Analysis Of Transformable Structures Expanding During Testing

*Dynamic analysis of folded deployment of transformable structures in the process of testing is dedicated. The dynamic model in relation to the test conditions is developed. The kinematic parameters for comparison of test results with the results of the mechanism deployment in real conditions are determined. Calculations are performed for different friction in the joints, taking into account angular position of the apparatus when landing on a bent; methods for selection of disinflation system are recommended.*

**Keywords:** disinflation system; testing; mechanism section; rotary unit; coefficient of dry friction; rubber wisp; angular velocity.

**М**ногие механизмы, установленные на спускаемых аппаратах (СА), раскрываются после посадки на поверхность планеты. Для подтверждения работоспособности конструкции проводят испытания, максимально приближенные к натурным условиям эксплуатации.

Одним из основных требований при проведении испытаний механизмов является их обезвешивание, обеспечивающее гравитацию планеты назначения. При выборе способа обез-

вешивания учитываются конструктивные особенности механизма, виды испытаний, наличие необходимого стендового оборудования.

Здесь предложены два способа обезвешивания механизмов, которые удовлетворяют требованиям многих трансформируемых конструкций:

раскрытие механизма на наклонной плоскости (под углом к горизонту);

обезвешивание звеньев механизма с помощью резиновых жгутов.

Результаты расчетов для жгутов различной жесткости

Комбинация	Компенсирующая сила, Н		Число резинок в жгуте		$\gamma, ^\circ$	Время, с		Конечная угловая скорость, $c^{-1}$
	$\Delta G_1$	$\Delta G_2$	$n_1$	$n_2$		спрямления	раскрытия	
1	28,7	20,4	7	5	12,62	1,472	1,792	1,897
2	24,6	20,4	6	5	16,86	1,545	1,888	2,635
3	24,6	24,6	6	6	36,91	1,346	1,914	1,973
4	–	–	–	–	<b>13,71</b>	<b>1,717</b>	<b>2,056</b>	<b>1,926</b>

В табл. 4 приведены результаты расчетов для комбинаций 1–3 резиновых жгутов. Для сравнения приведен эталонный расчет (комбинация 4) раскрытия трапа на поверхности Марса ( $g_M = 3,72 \text{ м/с}^2$ ) с теми же исходными данными.

Комбинация 3 ближе всего к эталонному варианту по времени раскрытия и конечной угловой скорости, однако она значительно отличается по углу и времени спрямления. По совокупности критериев (кинематических параметров) более предпочтительной выглядит комбинация 1.

Итак, разработана модель для исследования динамики раскрытия трансформируемых конструкций. Для формирования модели и интегрирования системы дифференциальных уравнений использовался программный комплекс EULER.

В данной статье продемонстрирована универсальность этой динамической модели. Проведена ее модернизация применительно к условиям и средствам доводочных испытаний: добавлены новые связи и датчики, изменены силовые воздействия.

В результате получен инструмент для оптимизации средств испытаний и рационального проектирования оснастки. Выполнены расчеты для различного трения в шарнирах с учетом положения посадочной платформы при посадке на склон, даны рекомендации по выбору комбинации жгутов при обезвешивании.

В качестве основного критерия рассматривалось достижение эталонных (соответствующи

щих гравитации на поверхности Марса) кинематических параметров раскрытия: времени и конечной угловой скорости.

Как показали результаты расчетов, при проведении доводочных испытаний трапов в земных условиях возможны два способа их обезвешивания. Выбор способа обезвешивания зависит от вида испытаний трапов и определяется конструктором совместно с испытателями.

Например, испытания раскрытия звеньев трапов при низких температурах в вакуумной камере возможны только при первом способе их обезвешивания. А при испытаниях раскрытия трапов с выносом их на рыхлый грунт предпочтительным является второй способ обезвешивания.

#### Библиографический список

1. **Аминов В.Р. и др.** Справочные материалы для конструкторов по динамике: Т.8. Математические модели движения упругих космических аппаратов. Кн. 1. Методы составления математических моделей движения упругих КА и определения их параметров. Королев: ЦНИИмаш, 1996.
2. **Горовцов В.В., Жиряков А.В., Телепнев П.П. и др.** Исследование динамики и решение задачи проектирования трансформируемых конструкций посадочного модуля КА «ЭкзоМарс» // Вестник НПО имени С.А. Лавочкина. 2016. № 4 (34). С. 75 – 80.
3. **Лурье А.И.** Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961. 824 с.
4. **Бойков В.Г., Юдаков А.А.** Моделирование динамики твердых и упругих тел в программном комплексе EULER // Информационные технологии и вычислительные системы. 2011. № 1. С. 42 – 52.
5. **Виттенбург Й.** Динамика систем твердых тел. М.: Мир, 1980. 292 с.

УДК 629.7

## Формирование структуры бортовой системы сопровождения при плоском представлении полета

*В.В. Шеваль, Н.Б. Рожнин*

E-mail: sheval@list.ru; rozhnin@yandex.ru

*Рассмотрены пути формирования уравнений динамики блоков структуры системы автоматического сопровождения оптического типа, расположенной на борту квадрокоптера при декомпозиции пространственной задачи сопровождения на две плоские. Предложен метод структурной коррекции системы автоматического сопровождения.*

*Ключевые слова: автоматическое сопровождение; квадрокоптер; декомпозиция; коррекция структуры; динамическая точность.*

**V.V. Sheval, N.B. Rozhnin.** Formation Of The Structure Of The Airboard System Escorts At Flat Representation Of Flight

*The ways of formation of the dynamics equations for the blocks of the structure of the automatic escort system of the optical type located on the board of the quadcopter at decomposition of a spatial problem of escort on two flat are considered. The method of structural correction of the automatic escort system is proposed.*

*Keywords: automatic support; quadcopter; decomposition; correction of structure; dynamic accuracy.*

**Н**а практике часто встречается задача исследования динамики системы автоматического сопровождения (САС), осуществляемого с помощью бортового оптического прибора (БОП), размещенного на легком летательном аппарате вертолетного типа – квадрокоптере (КК).

Управление положением КК осуществляет система управления полетом (СУП), а управление направлением визирной оси БОП осуществляет следящий привод (СП) оптической нагрузки (ОН). Кинематика формирования входных и возмущающих воздействий показана на рис. 1, а, функциональная схема управления САС – на рис. 1, б.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $\bar{R}_ц$  и  $\bar{R}_{кк}$  – радиус-векторы пространственного положения цели и КК;  $\varphi_ц^a$ ,  $\varphi_{он}^a$  и  $\theta$  – углы визирования цели, поворота ОН БОП и рассогласования между этими углами;  $BC_R$  и  $BC_\varphi$  – восстановители сигналов  $\hat{R}_ц$  и  $\hat{\varphi}_ц^a$ ; КЗ – кинематическое звено формирования угла  $\varphi_ц^a$ .

САС является сложной технической системой пространственного управления, состоящей из двух подсистем – СУП и СП ОН. Поэтому в



**ШЕВАЛЬ**

**Валерий Владимирович** – доцент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), кандидат техн. наук



**РОЖНИН**

**Николай Борисович** – старший научный сотрудник Московского авиационного института (национального исследовательского университета), кандидат техн. наук

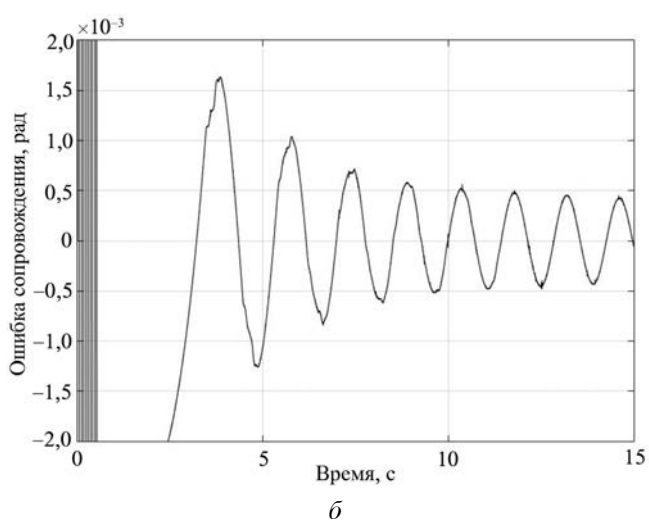
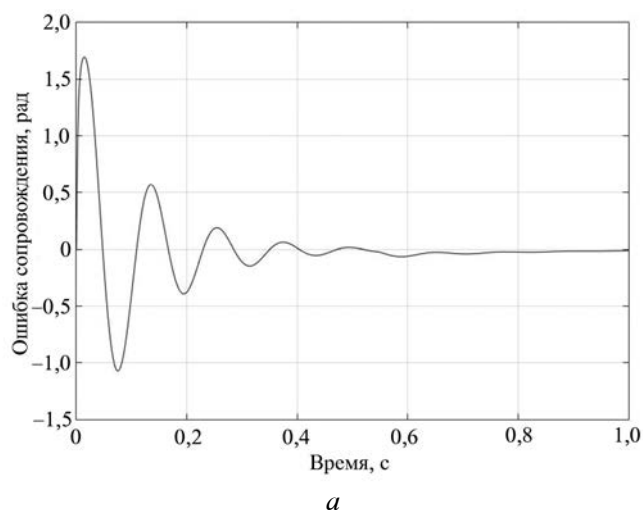


Рис. 6. Эюра сигнала ошибки при исходной структуре САС:

$a$  – в интервале 0...1 с;  $b$  – в интервале 0...15 с

На рис. 7 показана эюра  $\theta$  для структуры САС с предложенной выше структурной коррекцией.

Переходный процесс заканчивается за 0,3 с; амплитуда колебаний  $\theta$  в установившемся положении составляет 0,86'.

Следовательно, предложенная в настоящей работе структура плоской САС позволяет на данном уровне проводить сравнительные исследования динамики системы по критерию ошибки  $\theta$ .

Методика построения предложенной структуры САС в одной плоскости позволяет вво-

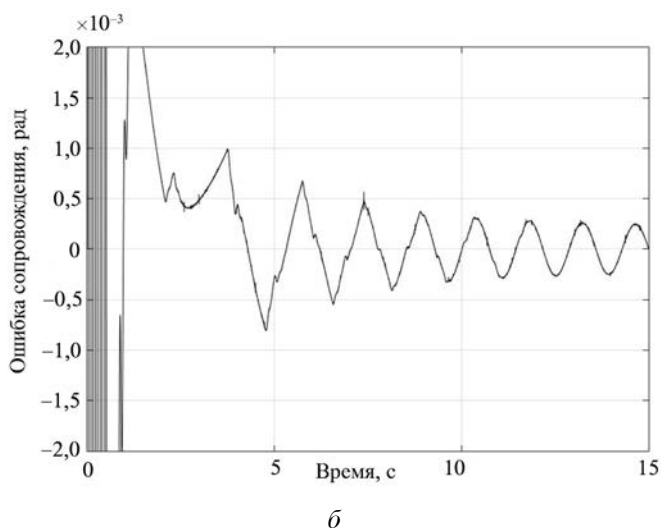
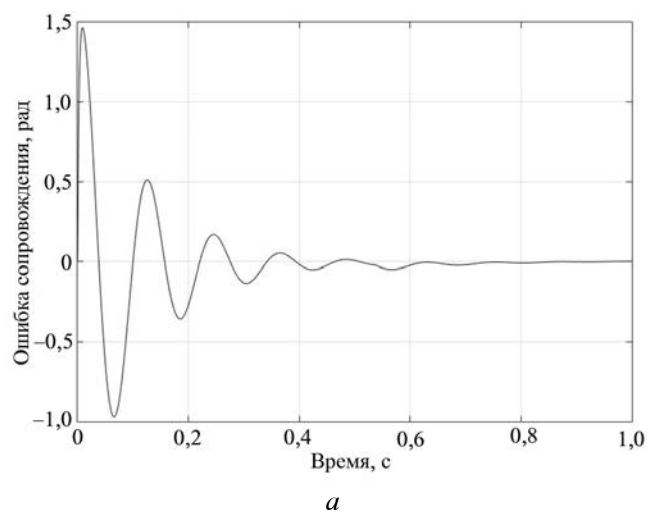


Рис. 7. Эюра сигнала ошибки при скорректированной структуре САС:

$a$  – в интервале 0...1 с;  $b$  – в интервале 0...15 с

дить в рассмотрение различные реальные факторы построения оборудования САС с учетом внешних воздействий.

#### Библиографический список

1. Огольцов И.И., Рожнин Н.Б., Шеваль В.В. Математическая модель квадрокоптера аэромобильного лидара // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 1. С. 47–55.
2. Огольцов И.И., Рожнин Н.Б., Шеваль В.В. Разработка математической модели пространственного полета квадрокоптера // Тр. МАИ. 2015. Вып. 83. С. 1–26.



**ШИБАНОВ**  
 Георгий Петрович –  
 ведущий научный сотрудник  
 Государственного  
 летно-испытательного центра  
 имени В.П. Чкалова (г. Ахтубинск),  
 профессор, доктор техн. наук

## **Система возбуждения тактового генератора автоматических средств контроля летательных аппаратов**

*Г.П. Шибанов*

E-mail: gpshibanov@mail.ru

*Рассматриваются особенности построения системы возбуждения тактовых генераторов автоматических средств контроля летательных аппаратов, выполненных на базе кольцевых камертонов. Дается оценка их эффективности. Приводятся формулы для определения добротности колебательных систем, возбуждающей силы, воздействующей на упруго связанные элементы генератора, и коэффициента полезного действия систем возбуждения.*

**Ключевые слова:** генератор тактовых импульсов; автоматические средства контроля; летательный аппарат; система возбуждения.

**G.P. Shibbanov.** The System Of Exciter Clock Pulse-Generator Of Automation Of Facility Check Of Aircraft

*At paper to examine of especially exciter systems of clock pulse-generator of automation check facility of aircraft. Valuing of effectiveness of exciter systems.*

*Lead to correct formulas of calculations grade, exciter strength and coefficient efficiency of exciter systems.*

**Keywords:** clock pulse-generator; automation of facility check; aircraft; system of exciter.

**П**рименительно к упруго связанным колебательным системам типа тактовых генераторов автоматических средств контроля (АСК) летательных аппаратов, построенных на основе кольцевых камертонов, не все виды систем возбуждения имеют одинаково хорошие показатели. Наиболее приемлемыми являются электромагнитные и магнитоэлектрические системы возбуждения. Теоретически такие системы были детально исследованы еще в 1940–1950-е гг. научными коллективами под руководством выдающихся ученых чл.-кор. АН СССР Б.С. Сотскова и академика А.А. Харкевича. Применение указанных систем возбуждения позволяет получить необходимый коэффициент преобразования энергии, достаточную мощность и амплитуду колебаний. Они обладают высокой добротностью, механической прочностью и надежностью, имеют малые габаритные размеры и отличаются конструктивной простотой.

ления индуктивности рассеяния, поскольку оно значительно меньше суммы активных сопротивлений обмотки и нагрузки. Кроме того, сопротивление индуктивности рассеяния может быть скомпенсировано последовательно включенной емкостью. Поэтому будем считать, что сопротивления, включенные на электрической стороне выходной обмотки, трансформируются на механическую сторону в виде механического сопротивления  $R_b$ , активная составляющая которого  $r_b$  определяется выражением

$$r_b = \frac{\beta^2 \left[ \frac{R_{ж}(R_3 + R_H)}{R_{ж} + R_3 + R_H} \right]}{\left[ \frac{R_{ж}(R_3 + R_H)}{R_{ж} + R_3 + R_H} \right] + R_{и.п}} = \frac{\beta^2 \left[ \frac{R_{ж}(R_3 + R_H)}{R_{ж} + R_3 + R_H} \right]}{\Sigma}, \quad (3)$$

где  $R_{и.п}$  – активная часть сопротивления индуктивности рассеяния;  $\beta$  – вещественно, так как сопротивления потерь выделены в отдельную цепочку ( $R_{ж}$ ,  $R_3$  – сопротивления потерь энергии в железе и в меди);  $\Sigma$  – обозначение знаменателя выражения (3), введенное для сокращения записей.

Из выражения (3) находим

$$\frac{1}{R_b} = \frac{\Sigma}{\beta^2 (R_3 + R_H)} + \frac{\Sigma}{p^2 R_{ж}} = \frac{\Sigma}{\beta^2} \left( \frac{1}{R_3 + R_H} + \frac{1}{R_{ж}} \right).$$

Таким образом, мощность, выделяемая в проводимости, распределяется между проводимостью  $1/(R_3 + R_H)$ , содержащей нагрузку, и проводимостью  $1/R_{ж}$ . Отсюда найдем составную часть  $\eta'_2$  второго КПД  $\eta_2$ :

$$\eta'_2 = \frac{1}{\frac{R_3 + R_H}{1} + \frac{1}{R_{ж}}} = \frac{R_{ж}}{R_{ж} + R_3 + R_H}. \quad (4)$$

В свою очередь, только часть мощности, выделяемой на сумме сопротивлений  $R_3 + R_H$ , используется в полезной нагрузке  $R_H$ . Отсюда найдем вторую часть КПД  $\eta_2$ , обозначив ее  $\eta''_2$ :

$$\eta''_2 = \frac{R_H}{R_3 + R_H}. \quad (5)$$

На основе выражений (4) и (5) можно определить суммарный КПД выходной обмотки:

$$\eta_2 = \eta'_2 \eta''_2 = \left( \frac{R_{ж}}{R_{ж} + R_3 + R_H} \right) \left( \frac{R_H}{R_3 + R_H} \right).$$

В заключение заметим, что для повышения эффективности системы возбуждения тактовых генераторов, построенных на основе упруго связанных механических колебательных систем типа кольцевых камертонов, необходимо стремиться к увеличению постоянного магнитного потока в магнитной цепи. Однако необходимо учитывать, что если движущаяся сила пропорциональна первой степени поляризующего потока, то активные потери вследствие электромагнитного затухания пропорциональны квадрату поляризующего потока. Поэтому при уменьшении воздушных зазоров, что равносильно увеличению постоянного потока, эффективность системы возбуждения сначала возрастает до определенного максимума, а затем начинает падать.

Рациональным режимом работы системы возбуждения является случай, когда механическое и электромагнитное затухание являются величинами одного порядка.

#### Библиографический список

1. Шибанов Г.П. Тактовый генератор для автоматизированных средств контроля летательных аппаратов // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 2018. № 3. С. 21–26.
2. Иванов–Смоленский А.В. Электрические машины. Т.1, 2. М: Издательский дом МЭИ, 2006. 1170 с.
3. Стародубцев Ю.Н., Белозёров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2002. 384 с.
4. Никаноров В.Б., Останин С.Ю., Шмелева Г.П. Моделирование процессов перемагничивания нестабилизированных магнитотвердых материалов // Электричество. 2002. № 11. С. 28–36.
5. Рошин В.В., Годин С.М. Экспериментальное исследование физических эффектов в динамической магнитной системе // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. Вып. 24. С. 70–75.

УДК 629.7

## Приложения системного подхода при управлении группировками космических аппаратов

*М.В. Палкин, А.Н. Лавренов*

E-mail: mpalkin@vpk.npomash.ru

*Исследована проблема системного подхода к управлению многоспутниковой группировкой на всех этапах ее жизненного цикла. В качестве примера приведена задача управления космическими аппаратами для построения «многоточечного» изображения (проект «Космическая реклама»).*

*Ключевые слова:* многоспутниковая группировка; системный подход; система управления; космический аппарат; космическая реклама.

**M.V. Palkin, A.N. Lavrenov.** Applications Of A System Approach For A Satellite Formation Flying Control

*A problem of a comprehensive approach for a formation flying satellites lifecycle control system design is analysed. As an example a concept of a multisatellite «space advertisement» formation control system is provided.*

*Keywords:* formation flying satellites; comprehensive approach; control system; satellite; space advertisement.

**В** связи с активным развитием глобальных информационных технологий внимание разработчиков начинают привлекать новые, в том числе экзотические, космические направления. Одним из таких направлений является концепция согласованного управления многоспутниковыми группировками автоматических космических аппаратов (КА), взаимодействующих между собой.

В настоящее время реализованы проекты таких группировок с числом КА до пяти. Характерными целевыми задачами группового полета КА являются:

многопозиционные исследования околоземного пространства (проекты GRACE, SWARM, MMS, SCOPE);

формирование антенных полей сверхбольшой апертуры (проекты DARWIN, LISA);

осуществление многократной многодиапазонной последовательной съемки поверхности Земли или дальнего космоса (проекты EO – 1/LandSat–7; TanDEM-X, A-Train).

На стадии разработки находятся еще более крупные проекты группировок, состоящих из сотен и даже тысяч спутников. Это, например, европейский проект OneWeb по запуску ~ 900 спутников глобальной ин-



**ПАЛКИН**

**Максим Вячеславович** – помощник генерального директора ВПК «НПО машиностроения», член Международной общественной организации «Академия навигации и управления движением», кандидат техн. наук



**ЛАВРЕНОВ**

**Александр Николаевич** – заместитель начальника отделения ВПК «НПО машиностроения»

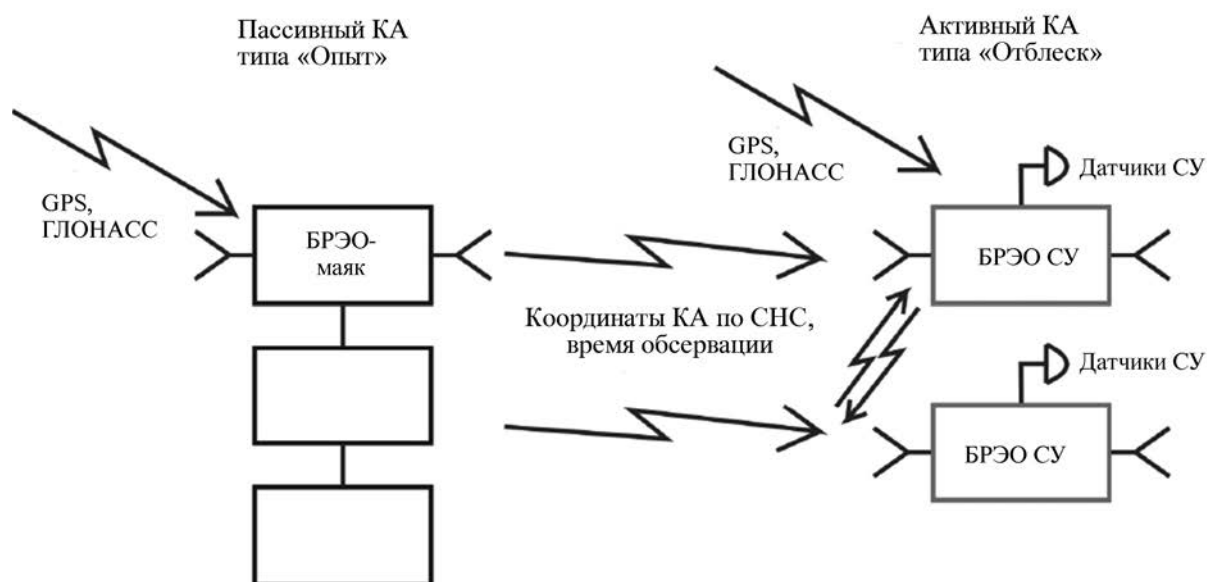


Рис. 5. Схема информационного взаимодействия КА «Отблеск» и КА «Опыт» в совместном полете

прогноз конфигурации группировки при движении всех КА без маневра;

формирование бортовым комплексом системы управления каждого активного КА команд на выполнение автономных маневров для поддержания расчетного места в строю в соответствии с принятой идеологией управления группировкой.

Кроме того, бортовая система управления каждого КА содержит резервные алгоритмы функционирования на случай возникновения в полете нештатных ситуаций.

Сопротивление остаточной атмосферы будет приводить к постепенному торможению аппаратов группировки с соответствующим снижением высоты полета. В частности, при выведении КА «Отблеск» и «Опыт» на начальную рабочую высоту, равную 220 км, расчетный срок активного существования аппаратов составит от 1,8 сут (30 полных витков) до 5,5 сут в зависимости от состояния верхней атмосферы и степени аэродинамического экранирования связки «парашютов». При вхождении в плотные слои атмосферы КА космической рекламы полностью разрушаются и сгорают без выпадения на землю фрагментов конструкции.

#### Библиографический список

1. Ильичев А.В. Эффективность проектируемой техники. М.: Машиностроение, 1991. 336 с.
2. Лавренов А.Н., Палкин М.В., Петухов Р.А. Технология космической рекламы. Реутов: АО «ВПК «НПО машиностроения», 2016. 124 с.
3. Палкин М.В. Концептуальные вопросы создания и применения космических аппаратов группового полета // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2015. № 8. С. 100 – 115.
4. Палкин М.В. Некоторые аспекты формирования групп космических аппаратов и управления ими // Вестник Московского авиационного института. 2014. Т. 21. № 3. С. 29 – 35.
5. Палкин М.В., Титков И.П. Об одной задаче применения космических аппаратов группового полета: сб. ст. / под ред. Г.В. Барбашова и И.В. Романова. СПб.: Балтийский гос. техн. ун-т, 2015. 457 с.
6. Воронов Е.М., Карпунин А.А., Палкин М.В. и др. Формирование конфигурации группы спутников и многокритериальное управление по конфигурационной точности и расходу // Тр. XXXVIII академических чтений по космонавтике; под общей ред. А.К. Медведевой. М., 2014.
7. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. М.: Дрофа, 2004. 544 с.
8. Белецкий В.В. Движение искусственного спутника относительно центра масс. М.: Наука, 1965.



**БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ**  
 Вячеслав Феоктистович –  
 заведующий кафедрой  
 Рыбинского государственного  
 авиационного технического  
 университета  
 имени П. А. Соловьева,  
 доктор техн. наук



**РАСТЕГАЕВ**  
 Евгений Владимирович –  
 аспирант  
 Рыбинского государственного  
 авиационного технического  
 университета  
 имени П. А. Соловьева

## **Теоретические положения по организации параллельной инженерной разработки в производстве газотурбинных двигателей**

***В.Ф. Безъязычный, Е.В. Растегаев***

E-mail: technology@rsatu.ru

*Изложены преимущества параллельной инженерной разработки конструкций изделий, в частности газотурбинных двигателей, и технологии их изготовления. Предложены направления совместной работы конструктора и технолога при изготовлении изделий.*

***Ключевые слова:** конструкция; технология; параллельная инженерная разработка.*

**V.F. Bezhyazichniy, E.V. Rastegaev.** About The Development Of Theoretical Provisions During Organization Of Manufacture Of Parallel Engineering Of Gas Turbine Engines

*The article describes about advantages of parallel engineering development of products, in particular gas turbine engines, and technology of their production. Directions of joint work of the designer and technologist during production of products are offered.*

***Keywords:** design; technology; concurrent engineering.*

**П**араллельную инженерную разработку (*concurrent engineering*) следует рассматривать как систематизированный организационно-технический подход, обеспечивающий интегрированное и в значительной степени одновременное проектирование как самих изделий, так и процессов их производства. Основоположником данного метода является советский конструктор В.Г. Грабин [1]. Применение этого метода позволило в сжатые сроки перед Великой Отечественной войной и во время войны наладить выпуск артиллерийских систем.

Современные правила разработки конструкторской документации согласно ГОСТ 2.103–2013 [2] подразделяются на следующие стадии:

разработка проектной конструкторской документации (техническое предложение, эскизный проект, технический проект);

разработка рабочей конструкторской документации (опытного образца, а затем серийного).

Все требования к разработке проектной документации изложены в ГОСТ 2.118–73. Техническое предложение, ГОСТ 2.119–2013. Эскизный проект, ГОСТ 2.120–2013. Технический проект. Правила технологической подготовки производства продукции машино-

В отличие от параллельно-последовательной работы параллельная инженерная разработка – это более сложный взаимосвязанный процесс. Он предусматривает одновременное влияние процесса назначения технологических процессов на процесс конструирования деталей изделия. При таком подходе взаимное влияние процессов оказывается настолько сильным, что нельзя говорить об этапе проектирования как об этапе, предшествующем этапу разработки технологических процессов [12].

Опыт параллельно-последовательной работы применяется на многих фирмах. Например, в авиадвигателестроении данный подход применяется на фирме Snecma.

В России опыт параллельной инженерной разработки в настоящее время на промышленных предприятиях не применяется. Кроме организационного подхода требуется понимание и алгоритмизация технического процесса конструирования посредством выбора технологических процессов обработки деталей. Именно поэтому требуется разработка теоретических положений по этому направлению работы авиадвигателестроительных предприятий.

#### Библиографический список

1. **Грабин В.Г.** Оружие победы. М.: Политиздат, 1989. 133 с.
2. **ГОСТ 2.103–2013.** Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. М.: Стандартинформ, 2013.
3. **ГОСТ Р 50995.3.1–96.** Технологическое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства. М.: Госстандарт, 1996.
4. **Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П.** Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: справ. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
5. **ГОСТ 14.205–83.** Технологичность конструкции изделий. Термины и определения М.: Госкомстат, 1983.
6. **Овсеев А.Н., Gajek М., Серебряков В.И.** Формирование состояния поверхностного слоя деталей машин технологическими методами // Politechnika Opolska. 2001. 228 с.
7. **Инженерия** поверхности деталей / под ред. А.Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
8. **Безъязычный В.Ф.** Метод подобия в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2012. 320 с.
9. **Мухин В.С., Смыслов А.М., Боровский С.М.** Модифицирование поверхности деталей ГТД по условиям эксплуатации. М.: Машиностроение, 1995. 253 с.
10. **Драпкин Б.М., Кононенко В.К., Безъязычный В.Ф.** Свойства сплавов в экстремальном состоянии. М.: Машиностроение, 2004. 256 с.
11. **ГОСТ Р 51814.6–2005.** Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов. М.: Стандартинформ, 2005.
12. **Безъязычный В.Ф., Кононов В.А.** Повышение эффективности и качества процесса создания изделий машиностроения посредством совершенствования форм его организации // *Assembling in mechanical engineering, instrument-making*. 2011. № 12.

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации по печати. Свидетельство о регистрации № 017751 от 23.06.98. Учредитель: ООО «Машиностроение–Полет»

Перепечатка материалов Общероссийского научно-технического журнала «Полет» возможна при письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на Общероссийский научно-технический журнал «Полет» обязательна

**ООО «Машиностроение–Полет», 107076, Москва, Стромьинский пер., 4**

Редактор номера *О.Г. Красильникова*.

Технический редактор *Н.В. Коваль*. Корректор *С.В. Сидоренко*

Сдано в набор 28.03.18. Подписано в печать 18.04.18. Формат 60×88/8. Усл. печ. л. 10,1.

Бумага офсетная. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО «Машиностроение–Полет».

107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4. Сайт: [www.ros-polet.ru](http://www.ros-polet.ru)

Отпечатано в типографии ООО «Белый Ветер». 115054, Москва, ул. Щипок, 28. E-mail: [wwprint@mail.ru](mailto:wwprint@mail.ru). [Http://www.wwprint.ru](http://www.wwprint.ru)