



АВИАЦИЯ ♦ РАКЕТНАЯ ТЕХНИКА ♦ КОСМОНАВТИКА

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

Журнал выходит ежемесячно
Выпускается с августа 1998 г.

Г.В. НОВОЖИЛОВ – Главный редактор (авиация),
академик РАН
А.С. КОРОТЕЕВ – Главный редактор (ракетная
техника и космонавтика), академик РАН, профессор

Члены
редакционной
коллегии

А.А. АЛЕКСАНДРОВ,
д.т.н., проф.
А.П. АЛЕКСАНДРОВ,
к.т.н., летчик-космонавт
Б.С. АЛЕШИН,
чл.-кор. РАН
Б.В. БАЛЬМОНТ,
академик РАКЦ
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,
чл.-кор. РАН, проф.

Редактор-организатор
О.С. РОДЗЕВИЧ

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, к.т.н.
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ,
д.т.н., проф.
О.Ф. ДЕМЧЕНКО, к.э.н.
Н.Н. ДОЛЖЕНКОВ, д.т.н.
С.Ю. ЖЕЛТОВ,
чл.-кор. РАН
Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
академик РАН, проф.
А.Н. КИРИЛИН, д.т.н.
А.А. КОРОТЕЕВ,
академик РАН
С.Б. ЛЕВОЧКИН, д.т.н.
Л.Н. ЛЫСЕНКО, д.т.н., проф.
А.П. МАНИН, д.т.н.
К.М. ПИЧХАДЗЕ, д.т.н., проф.
С.С. ПОЗДНЯКОВ, инж.
Ю.А. РЫЖОВ,
академик РАН, проф.
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.А. ШАЛАЙ,
д.т.н., проф.
В.А. ШАТАЛОВ,
летчик-космонавт

СОДЕРЖАНИЕ

- Хрулин С.В.** Аппроксимация зависимостей коэффициентов аэродинамических сил от углов атаки и скольжения во всей области их определения 3
- Чаплыгин В.Я., Матвеев А.М., Литвинов В.Б.** Расчет конических барокамер для исследования агрегатов авиационной техники 17
- Серьезнов А.Н., Соколов В.Г., Мымрин В.А., Темляков Ю.Н.** Высокоскоростной аэроэстакадный транспорт на динамической воздушной подушке 22
- Безъязычный В.Ф., Калугин С.С.** Показатели качества гарантийного послепродажного технического обслуживания авиационных газотурбинных двигателей 29
- Ермаков С.А., Константинов С.В., Кузнецов И.П., Оболенский Ю.Г.** Структуры и компоненты рулевых приводов систем управления перспективных самолетов с повышенным уровнем электрификации 35
- Верба В.С., Меркулов В.И.** Робототехнические комплексы на основе беспилотных летательных аппаратов. Проблемы группового управления 48
- Жизнь, отданная авиации.** К 90-летию со дня рождения Олега Сергеевича Самойловича 56

*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://fondsebrova.ru/index.php/zhurnal-polet/o-zhurnale/>*

Адрес редакции: 107076, РФ, г. Москва, Стромынский пер., 4

Телефон: 8 (499) 269-54-97 + 7 926 916-03-58

Адрес электронной почты: rosplet@mail.ru

Адрес в интернете: <http://fondsebrova.ru/index.php/zhurnal-polet/>



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 (Aviation), Acad., RAS

A.S. KOROTEYEV —

Editor-in-Chief (Rocket Technology and Cosmonautics),
Acad., RAS, Prof.

Board

Members of Editorial

A.A. ALEKSANDROV,
Dr. Sci. (Eng.)
A.P. ALEKSANDROV,
Cand. Sci. (Eng.), Prof.,
Pilot-Cosmonaut
B.S. ALESHIN,
Corresp. Member, RAS
B.V. BALMONT,
Member, RACTs.
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,
Corresp. Member, RAS, Prof.

**Members of Editorial
Committee**

A.M. MATVEENKO,
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. BEZYZACHNYI, Dr. Sci.
(Eng.), Prof.
O.F. DEMCHENKO,
Cand. Sci. (Econ.)
N.N. DOLZHENKOV,
Dr. Sci. (Eng.)
S.Yu. ZHELTOV,
Corresp. Member, RAS
L.M. ZELENY,
Acad., RAS, Prof.
A.N. KIRILIN, Dr. Sci. (Eng.)
A.A. KOROTEYEV, Acad., RAS
S.B. LYOVOKHIN,
Dr. Sci. (Eng.)
L.N. LYSSENKO,
Dr. Sci. (Eng.), Prof.
A.P. MANIN, Dr. Sci. (Eng.)
K.M. PICHKHADZE,
Dr. Sci. (Eng.), Prof.
S.S. POZDNYAKOV, Eng.
Yu.A. RYZHOV,
Acad., RAS, Prof.
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.V. SHALAY,
Dr. Sci. (Eng.), Prof.
V.A. SHATALOV,
Pilot-Cosmonaut

Editor Organizer
O.S. RODZEVICH

CONTENTS

- Khrulin S.V.** Relations Approximation Of Aerodynamic Forces
Coefficients Due To Attack And Slip Angles Within The Whole
Range Of Their Definition 3
- Chapligin V.Ya., Matveenko A.M., Litvinov V.B.** Designing
Conical Hyper Chambers Meant For Exploring Aircraft Engi-
neering Units 17
- Serieznov A.N., Sokolov V.G., Mimrin V.A., Temljakov Yu.N.**
High-Speed Air Cushion Ground Transport Vehicle 22
- Bezjazychnyi V.F., Kalugin C.C.** Indicators Of Quality Of
Guarantee After-Sale Maintenance Of Aviation Gas-Turbine
Engines 29
- Ermakov S.A., Konstantinov S.V., Kuznetsov I.P., Obolen-
sky Yu.G.** Structures And Components Of Control Actuators
Of Advanced Airplane Actuation System With "More Electric"
Architecture 35
- Verba V.S., Merkulov V.I.** Group Control Of Unmanned Aerial
Robotic Systems 48
- Life Devoted To Aviation.** To Ninetieth Birthday Of Oleg
Sergeevich Samoylovich 56

*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://fondserrebrova.ru/index.php/zhurnal-polet/o-zhurnale/>*

Address of the editorial office: 107076, Moscow, Stromynsky per., 4
Phone: 8 (499) 269-54-97 + 7 926 916-03-58
E-mail address: rosolet@mail.ru
Internet address: <http://fondserrebrova.ru/index.php/zhurnal-polet/>

Аппроксимация зависимостей коэффициентов аэродинамических сил от углов атаки и скольжения во всей области их определения

С.В. Хрулин

E-mail: burgoam@mail.ru



ХРУЛИН
Сергей Васильевич —
ведущий инженер
ФГУП "ГосНИИАС"

Рассмотрен вопрос определения коэффициентов стационарных составляющих аэродинамических сил при произвольных значениях углов атаки и скольжения. На основе гладкой сферической интерполяции для аэродинамических коэффициентов построены аппроксимирующие функции по углам атаки и скольжения. При этом используется минимально необходимое количество точек на сфере с заданными в них значениями коэффициентов. В качестве примеров приведены результаты применения полученных аппроксимаций к телам, обладающим определенными аэродинамическими симметриями.

Ключевые слова: коэффициенты аэродинамических сил; угол атаки; угол скольжения; гладкая сферическая интерполяция; аппроксимирующие функции.

S.V. Khrulin. Relations Approximation Of Aerodynamic Forces Coefficients Due To Attack And Slip Angles Within The Whole Range Of Their Definition

The subject of this study is to examine the definition of coefficients of aerodynamic forces stationary components at any values of attack and slip angles. The approximating functions of attack and slip angles are built on the basis of smooth spherical interpolation for aerodynamic coefficients. While doing it, the minimum necessary number of points on the sphere with given values of coefficients is used. The results of application of the produced approximations to bodies having the given aerodynamic symmetry are presented as examples.

Keywords: coefficients of aerodynamic forces; attack angle; slip angle; smooth spherical interpolation; approximating functions.

Одной из проблем при моделировании движения какого-либо объекта в воздухе является корректное определение аэродинамических сил и моментов. Обычно вводят некоторую прямоугольную систему координат (СК), связанную с набегающим воздушным потоком (ее принято называть скоростной СК), и рассматривают проекции полной аэродинамической силы на оси данной системы координат — *силу сопротивления, подъемную силу и боковую силу*. Эти силы зависят от многих факторов: параметров атмосферы, формы объекта, материала его поверхности, скорости движения и текущего углового положения объекта, его угловых скоростей и т.д.

Каждую силу можно представить в виде суммы стационарной и нестационарной составляющих. Стационарные составляющие являются основными, они соответствуют движению объекта с постоянной скоростью и неизменным угловым положением относительно воздушного потока. Нестационарные составляющие представляют собой всевозможные аэродинамические добавки, вызванные различными вращениями объекта, его угло-

поведения объекта при больших углах атаки и скольжения;

в алгоритмах тренажеров и симуляторов различных ЛА для моделирования нестандартных режимов полета воздушного судна;

для оценки движения тел, похожих на ЛА, когда отсутствуют точные данные о форме объекта (например, движение болидов и астероидов в атмосфере планеты);

в задачах, где нет точных данных об аэродинамических коэффициентах. Например, в задачах, в которых по местоположению обломков объекта требуется смоделировать траектории их падения и по ним восстановить точку, в которой объект начал разрушаться;

для оценки движения объектов, движущихся в жидкой среде (подводные лодки, торпеды, глубинные бомбы и т.п.).

Автор выражает благодарность за обсуждение и конструктивную критику материалов данной работы доктору технических наук профессору А.И. Желанникову (ЦАГИ), доктору технических наук профессору Ф.П. Миропольскому (3 ЦНИИ МО РФ) и доктору технических наук старшему научному сотруднику В.В. Орлову (ГосНИИАС).

Библиографический список

1. **Левицкий С.В., Свиридов Н.А.** Динамика полета: Учеб. / под ред. С.В. Левицкого. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 527 с.
2. **Лукошкин В.В., Миргазов М.Н.** Математическое моделирование многомерных функциональных зависимостей аэродинамических характеристик летательных аппаратов на основе данных экспериментальных исследований в аэродинамических трубах // Сб. докл. VI науч. конференции Волжского регионального центра РАН "Современные методы проектирования и обработки ракетно-артиллерийского вооружения". В 2 т. Саров: Изд. ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2010. Т. 1. С. 98—108.
3. **Евгений 055.** О подъемной силе самолета. URL: [http:// www.geaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1253588752](http://www.geaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1253588752) (дата обращения 22 сент. 2009 г.).
4. **Гурин Ф.В., Хрулин С.В.** Аппроксимация зависимости коэффициента силы сопротивления от углов скольжения и атаки // Сб. статей XXIII Всероссийск. науч.-техн. школы-семинара "Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах". Сочи, октябрь 2012. М.: РПА "АПР", 2012. С. 196—205.
5. **Хрулин С.В.** Выбор переменных для формирования уравнений движения гиросtabilизированных снарядов / Науч.-техн. сборник "Проблемы эксплуатации и восстановления авиационной техники". № 75. Люберцы: Изд. 13 ГНИИ МО РФ, 1997. С. 87—92.
6. **Краснов Н.Ф.** Аэродинамика: Учеб. Ч. 2. Методы аэродинамического расчета. М.: Высш. шк., 1980. 416 с.



УДК 532.527

Расчет конических барокамер для исследования агрегатов авиационной техники

В.Я. Чаплыгин, А.М. Матвеев, В.Б. Литвинов

E-mail: vch151@yandex.ru; litvinov@rt-cc.ru

Проведен расчет давления на основе результатов, полученных при последовательном замораживании воды в жесткой конической трубе с учетом зависимости модулей объемной упругости льда и воды от давления.

Ключевые слова: сверхвысокое давление; сжатие жидкости; замораживание воды; барокамера.

V. Ya. Chaplugin, A. M. Matveenko, V. B. Litvinov. Designing Conical Hyper Chambers Meant For Exploring Aircraft Engineering Units

The calculation of a pressure was made based on the data acquisition in consequent water freezing inside of a rigid conical dust with the consideration of moduli of volume elasticity of ice and water pressure dependence.

Keywords: extremely high pressure; compression of a liquid; water freezing; a high-pressure chamber.

Стремление повысить тактико-технические данные летательных аппаратов неизбежно приводит к необходимости увеличения энергоемкости агрегатов и систем ЛА. В свою очередь, это требует применения новых конструкционных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Разработка, создание и испытание новых конструкционных материалов для авиационной техники невозможны без расширения диапазона значений применяемых технологических параметров, например давления. В работе [1] рассмотрены способ получения сверхвысоких давлений в больших объемах и устройство для его осуществления, предназначенные для испытания различных узлов и агрегатов перспективных авиационных гидросистем высокого давления, а также для исследования свойств новых конструкционных материалов и создания устойчивых кристаллических структур.

В [2] произведен расчет давления, получаемого посредством последовательной заморозки воды в жесткой цилиндрической трубе с учетом зависимости модулей объемной упругости воды и льда от давления. В способе использованы уникальные свойства воды: расширение при фазовом переходе из жидкого состояния в твердое.

Проведем расчет давления, получаемого в жесткой конической трубе посредством последовательной заморозки воды.

Модуль упругости стали в рассматриваемой области давлений более чем на порядок выше модулей упругости льда и воды, поэтому для перво-



ЧАПЛЫГИН
Владимир Яковлевич — старший научный сотрудник Московского авиационного института (национального исследовательского университета)



МАТВЕЕНКО
Александр Макарович — заведующий кафедрой Московского авиационного института (национального исследовательского университета), профессор, академик РАН



ЛИТВИНОВ
Валерий Борисович — генеральный конструктор — научный руководитель АО "Московский машиностроительный экспериментальный завод — композиционные технологии", профессор, доктор техн. наук

Подставляя (32) в (31), получим

$$a_B(b_B + p) = -\frac{\pi D^2}{12l_0^2} (l_0 - x)^3 \frac{dp}{-dV_\Phi}. \quad (33)$$

Подставляя (30) в (33), имеем

$$a_B(b_B + p) = \frac{\pi D^2}{12l_0^2} (l_0 - x)^3 dp = \left[1 - \frac{\rho_{л0}}{\rho_{в0}} \left(\frac{b_L + p}{b_L} \right)^{1/a_L} \left(\frac{b_B}{b_B + p} \right)^{1/a_B} \right] \frac{\pi D^2}{12l_0^2} (l_0 - x)^2 dx_L. \quad (34)$$

Обозначая $dx_L = dx$ и разделяя переменные, запишем уравнение связи степени сжатия воды x и давления p воды в конической трубе, получаемого посредством последовательного охлаждения и заморозки, в дифференциальной форме:

$$\frac{dx}{l_0 - x} = \frac{1}{3} \frac{dp}{\left[b_B + p - \frac{\rho_{л0} b_B}{\rho_{в0} b_L} (b_L + p)^{1/a_L} (b_B + p)^{1-1/a_B} \right]^{a_B}}. \quad (35)$$

Численные значения параметров [3, 4]: $a_B = 6,5$; $b_B = 320$; $a_L = 7,13$; $b_L = 1304$.

Подставляя в (35) эти численные значения параметров, окончательно получаем

$$\frac{dx}{1 - x} = \frac{0,05128 dp}{320 + p - 0,7991(1304 + p)^{0,1403} (320 + p)^{0,8462}}. \quad (36)$$

Решение данного дифференциального уравнения в программе *Mathcad prime 3.1* представлено на рис. 6 (кривая 1). По оси ординат отложено давление p в МПа, по оси абсцисс — степень сжатия воды x . Длина l_0 конической трубы принята равной единице.

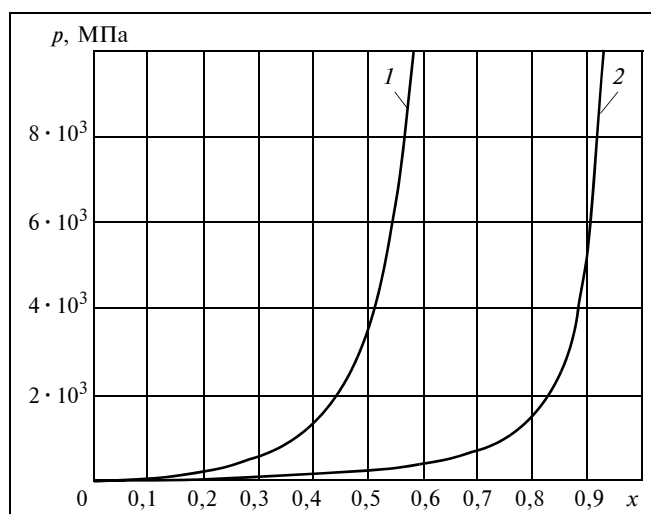


Рис. 6. Зависимости давлений в конической (1) и цилиндрической (2) трубах от степени сжатия при последовательной заморозке

Для сравнения в тех же координатах представлена зависимость давления воды от степени сжатия в цилиндрической трубе (кривая 2) [2]. Как видно из рис. 6, для достижения одинаковых значений давлений требуемая степень сжатия в конической трубе меньше соответствующей величины для цилиндрической трубы и, следовательно, процесс достижения давлений в конической трубе требует меньших временных и иных затрат.

Библиографический список

1. Чаплыгин В.Я., Матвеев А.М. Способ создания высоких и сверхвысоких давлений и устройство для его осуществления: Пат. 2502894 RU, С1, МПК F15B 3/00, 21/04, 21/06; Заявлено 29.05.2012; Опубл. 27.12.2013; Бюл. № 36.
2. Чаплыгин В.Я., Матвеев А.М., Литвинов В.Б. Способ получения сверхвысоких давлений // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2015. № 11–12. С. 22–25.
3. Бутаев Д.А., Калмыкова З.А., Подвидз Л.Г. и др. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. М.: Машиностроение, 1972. 464 с.
4. Громницкая Е.Л., Стальгорова О.В., Бражкин В.В. Аномалии барических и температурных зависимостей упругих характеристик льда при твердофазной аморфизации и фазовом переходе в аморфном состоянии // ЖЭТФ. 1997. Т. 112. Вып. 1 (7). С. 200–208.



СЕРБЕЗОВ
Алексей Николаевич —
научный руководитель
ФГУП "СибНИА
имени С.А. Чаплыгина",
доктор техн. наук



СОКОЛОВ
Виктор Григорьевич —
профессор Сибирского
государственного уни-
верситета путей сообще-
ния, доктор экон. наук



МЫМРИН
Владимир Анатольевич —
ведущий инженер
ФГУП "СибНИА
имени С.А. Чаплыгина"



ТЕМЛЯКОВ
Юрий Николаевич —
начальник сектора
ФГУП "СибНИА
имени С.А. Чаплыгина",
кандидат техн. наук

Высокоскоростной аэроэстакадный транспорт на динамической воздушной подушке

А.Н. Серьезнов, В.Г. Соколов, В.А. Мымрин, Ю.Н. Темляков

E-mail: a.serieznov@sibnia.ru; vg.sokolov@mail.ru; kosatka55@mail.ru

Рассматривается вариант реализации наземной высокоскоростной транспортной системы на базе технологий, разработанных в области создания экранопланов. Объектом исследований являются аэродинамические характеристики аэроэстакадного аппарата на динамической воздушной подушке, предназначенного для эксплуатации над специально спрофилированной твердой поверхностью. Приведены результаты испытаний в аэродинамической трубе Т-203 СибНИА моделей изолированного крыла и полной компоновки эстакадного экраноплана в присутствии макета эстакады, подтверждающие перспективность концепции высокоскоростного аэроэстакадного транспорта.

Ключевые слова: спрофилированный эстакадный экран; чистое крыло; схематизированная компоновка; аэродинамическая труба; статическая устойчивость; аэродинамические производные; энергетическая эффективность.

A.N. Serieznov, V.G. Sokolov, V.A. Mymrin, Yu.N. Temlyakov. High-Speed Air Cushion Ground Transport Vehicle

An advanced ground transport system is considered with using the technologies, developed in field of Wing in Ground Effect research. The subject of the paper is evaluation of aerodynamic performance such a Vehicle, with proposed layout, in movement over elevated route construction with specially shaped cross-section. Wind-tunnel data, obtained in T-203 SibNIA, is presented for clean wing and complete configurations, as proof of possible realization of considered conception.

Keywords: shaped aerodynamical "screen"; wing only case; schematical layout; wind tunnel; static stability; aerodynamic derivatives; energy efficiency.

В последнее время ряд стран (ФРГ, США, Япония, Китай) уделяет большое внимание развитию высокоскоростных магистралей для обеспечения грузо- и пассажиропотоков. Активно модернизируются воздушный, водный и все виды наземного транспорта: автомобильный, железнодорожный, трубопроводный и т.д.

Наибольшие изменения произошли в скоростном железнодорожном транспорте, где скорости движения поездов серии Shinkansen (Япония) достигают 580 км/ч. Переход на магнитную подвеску подвижного состава позволяет поезду Shanghai Maglev Train развивать скорость до 500 км/ч. Однако развитие сети высокоскоростных железных дорог связано с проблемой вливания больших объемов финансовых средств, необходимостью отчуждения территории, защиты окружающей среды от шума. В настоящее время принято [1], что система "колесо—рельс" в диапазоне расстояний 500...1000 км обеспечивает безопасность движения на максимальной скорости движения 350 км/ч.

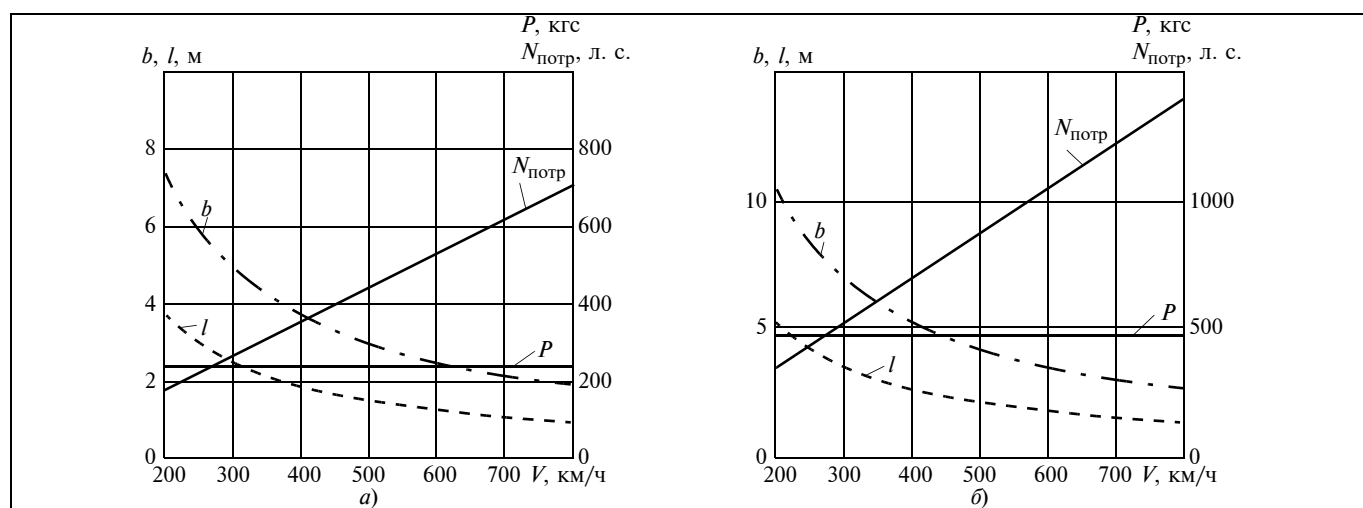


Рис. 7. Зависимости хорды и размаха крыла, потребной тяги и мощности силовой установки от расчетной путевой скорости: а — $G = 5$ т; б — $G = 10$ т

диапазоне 200...800 км/ч для полетных масс $G = 5$ и 10 т.

Эти зависимости можно рассматривать как номограммы для оценки размерности аппарата и потребной энерговооруженности по заданным значениям массы и крейсерской скорости с учетом располагаемой ширины эстакадной трассы. Постоянная потребная тяга соответствует одинаковому аэродинамическому качеству 20. Крейсерская тяговооруженность $P/G = 0,05$ является недостаточной на взлетном режиме с использованием поддува винтовых струй под крыло и должна быть в диапазоне 0,10...0,15, что тем не менее означает двух- или трехкратное уменьшение по сравнению с тяговооруженностью, принятой для транспортных самолетов.

Располагаемая мощность двигателей должна превышать потребную с учетом КПД винтов не менее чем на 30 %, если не рассматривать альтернативный вариант линейного электродвигателя. С учетом повышения весовой отдачи и благодаря двухкратному уменьшению максимальных эксплуатационных перегрузок приведенные расчетные и экспериментальные данные позволяют сделать предварительное заключение о перспективности высокоскоростных аэроэстакадных аппаратов.

Таким образом, подтверждаются теоретическое прогнозирование Р.Л. Бартини и недавние результаты работы сотрудников ЦАГИ В.Н. Архангельского и В.Г. Сергеева, касающиеся акту-

альности постановки и проведения НИОКР в области создания транспортной системы на базе высокоскоростных аэроэстакадных аппаратов.

Библиографический список

1. Киселев И.П. Высокоскоростной сухопутный транспорт: Состояние и перспектива // Транспорт Российской Федерации. 2010. № 6. С. 60—66.
2. Адашинский С.А. Городской транспорт будущего. М.: Наука, 1979. 168 с.
3. Бартини Р.Л. Транспорт будущего // Советский союз. 1974. № 11.
4. Сергеев В.Г. Транспортные средства с аэродинамическими силами поддержания на слабонесущих грунтах // Аэропорты. Прогрессивные технологии. 2012. № 1 (54). С. 26—30.
5. Соколянский В.П. Амфибийная и безаэродромная авиация — перспективный элемент транспортной системы России // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2014. № 12. С. 19—28.
6. Владимирова Т.А., Серьезнов А.Н., Соколов В.Г., Соколов С.А., Темляков Ю.Н. Модернизация транспортной системы регионов Сибири и Крайнего Севера: внедрение многоцелевых экраноходов // Экономика и социальная политика. 2014. № 6. С. 3—9.
7. Владимирова Т.А., Серьезнов А.Н., Соколов В.Г., Соколов С.А. Модернизация транспортной системы регионов Сибири и Крайнего Севера, создание аэроэстакадного транспорта // Региональная экономика. 2015. № 1. С. 3—9.
8. Мымрин В.А., Серьезнов А.Н., Соколов В.Г., Шаповалов И.Г. Экраноплан-поезд. Пат. 2522189. Приоритет от 10.11.2011 г.

Показатели качества гарантийного послепродажного технического обслуживания авиационных газотурбинных двигателей

В.Ф. Безъязычный, С.С. Калугин

E-mail: technology@rsatu.ru; semenkalugin@mail.ru

Приведены основные показатели, влияющие на эффективность и качество выполнения работ по послепродажному техническому обслуживанию авиационных газотурбинных двигателей в гарантийный период. Установлены зависимости для определения времени гарантийного технического обслуживания по замене двигателя, модуля, узла или агрегата, детали.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель; послепродажное техническое обслуживание; время обслуживания; масса двигателя и его элементов.

V.F. Bezjazychnyi, S.S. Kalugin. Indicators Of Quality Of Guarantee After-Sale Maintenance Of Aviation Gas-Turbine Engines

The main indicators influencing efficiency and quality of performance of work on after-sale maintenance of aviation gas-turbine engines during the guarantee period are given. Dependences for definition of time of guarantee maintenance on replacement of the engine, module, knot or units, details.

Keywords: gas-turbine engine; after-sale maintenance; maintenance time; the mass of the engine and its elements.

В настоящее время проблема послепродажного обслуживания для отечественного самолето- и двигателестроения стоит очень остро. Ведущие мировые лидеры в этих отраслях давно перестали продавать просто "товар" и "соответствующий сервис". Они предлагают полный набор различных услуг по обслуживанию самолетов и двигателей на протяжении всего их жизненного цикла [1, 2]. Не в последнюю очередь это связано с тем, что, по данным компаний General Electric, Snecma, Pratt & Whitney и др., до 60 % их дохода составляют денежные средства, полученные именно с послепродажного обслуживания ГТД.

К сожалению, в нашей стране пока не сложилось полного понимания, что такое техническое послепродажное обслуживание, как повысить его качество и эффективность, чтобы добиться конкурентоспособности нашей высокотехнологичной продукции на мировых рынках продаж самолетов и газотурбинных двигателей.

Результаты исследования. Для определения существенных причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями при исследовании проблемы повышения эффективности послепродажного обслуживания ГТД представим факторы, влияющие на эффективность технического после-



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



КАЛУГИН
Семен Сергеевич —
ведущий инженер
ОАО "НПО "Сатурн",
аспирант Рыбинского
государственного
авиационного
технического
университета
имени П.А. Соловьева

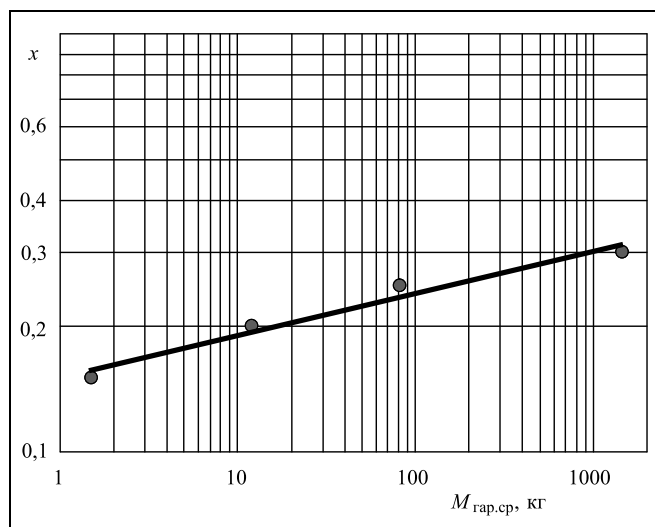


Рис. 7. Зависимость коэффициента x от $M_{\text{гар.ср}}$

Подставив (12), (13) в выражение (11), найдем обобщенную зависимость времени, затрачиваемого на гарантийное обслуживание двигателя или его элементов, от комплекса $Y_{\text{гар}}$ двигателя или его элементов:

$$t_{\text{гар}} = 10,4 M_{\text{гар.ср}}^{-0,4} Y_{\text{гар}}^{0,2 M_{\text{гар.ср}}^{0,1}}, \quad (14)$$

где $M_{\text{гар.ср}}$ — среднее значение массы двигателя или его элементов.

Не менее важным показателем, характеризующим качество технического обслуживания ГТД, является время замены непосредственно модуля, узла или детали ГТД.

Поскольку сложность технического обслуживания, связанная с заменой деталей и узлов изделия, зависит от их массы, следует учитывать показатель сложности технического обслуживания, который предлагается определять по зависимости

$$t_{\text{в}}/t_{\text{в.дв}} = C Y_{\text{гар}}^x,$$

где $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{в.дв}}$ — время восстановления работы составляющих изделия (время их замены) и время

замены двигателя; C и x — коэффициенты, связанные с конструктивной сложностью изделия.

Этот показатель отражает степень технологичности конструкции изделия и для разных двигателей имеет различные значения. Для каждого двигателя при замене одних и тех же составляющих двигателя он является характеристикой технологичности конструкции для технического обслуживания. Чем меньше отношение $t_{\text{в}}/t_{\text{в.дв}}$, тем более технологичной является конструкция двигателя в обслуживании. Например:

$t_{\text{в.м}}/t_{\text{в.дв}} = 1,1 Y_{\text{гар.м}}^{0,23}$ — при замене модулей двигателя SaM 146;

$t_{\text{в.агр}}/t_{\text{в.дв}} = 0,1 Y_{\text{гар.агр}}^{0,8}$ — при замене агрегатов двигателя SaM 146;

$t_{\text{в.дет}}/t_{\text{в.дв}} = 0,3 Y_{\text{гар.дет}}^{0,24}$ — при замене деталей двигателя SaM 146;

$t_{\text{в.агр}}/t_{\text{в.дв}} = 0,1 Y_{\text{гар.агр}}^{0,3}$ — при замене агрегатов двигателя Д30КП/КУ.

Таким образом, можно определять время послепродажного технического обслуживания в гарантийный период в зависимости от совокупной массы, объема двигателей или их элементов, а также от сложности транспортировки двигателей или его элементов, подлежащих замене в гарантийный период эксплуатации.

Библиографический список

1. Позняков П.П., Монахов А.П. Будет ли "цивилизована" российская авиация? URL: <http://www.aero-help.ru/analytics/info/44> < <http://www.aero-help.ru/analytics/info/44> >.
2. Панов В.А. Целесообразность внедрения послепродажного обслуживания с введением текущего ремонта двигателей в условиях эксплуатирующей организации и центрах восстановления исправности // "Двигатель". 2011. № 6. С. 12–16.
3. Блох С.С. Практическая номография. М.: Высш. шк., 1971. 346 с.

УДК 629.7

Структуры и компоненты рулевых приводов систем управления перспективных самолетов с повышенным уровнем электрификации

**С.А. Ермаков, С.В. Константинов,
И.П. Кузнецов, Ю.Г. Оболенский**

konstantinovSV53@gmail.com; ermakov1029@yandex.ru

Рассматриваются принципы формирования структуры системы управления полетом перспективных самолетов с повышенным уровнем электрификации, принципиальные схемы построения рулевых приводов повышенной надежности, а также необходимость применения разнородного резервирования в системах управления критическими рулевыми поверхностями.

Ключевые слова: рулевой привод; резервирование; система управления полетом; электрогидравлический рулевой привод.

S.A. Ermakov, S.V. Konstantinov, I.P. Kuznetsov, Yu.G. Obolensky. Structures And Components Of Control Actuators Of Advanced Airplane Actuation System With "More Electric" Architecture

The article describes the principles of flight control system structure forming of advanced airplane with "more electric" architecture, principle architecture of reliable control actuators and utilization of heterogeneous redundancy in control systems of critical control surfaces.

Keywords: control actuator; redundancy; flight control system; electrohydraulic control actuator.

Развитие систем управления полетом (СУП) современных самолетов определяет использование высокоинтегрированных цифровых систем управления, которые в едином вычислителе решают задачи ручного и автоматического управления полетом с заданными характеристиками устойчивости и управляемости. В качестве силовых подсистем используют электрогидравлические рулевые приводы (ЭГРП) с надежными отработанными компонентами [1, 2]. Такие рулевые приводы включают в свой состав электрогидравлические исполнительные механизмы, как правило, с дроссельным регулированием скорости. Один из вариантов такого привода показан на рис. 1.

Для управления ЭГРП применяются электронные блоки, которые, как правило, содержат цифровые микровычислители и реализуют функции управления и встроенного контроля исправности компонентов рулевых приводов. При появлении функциональных отказов осуществляется реконфигурация структуры привода и системы управления в целом.

Современные маневренные самолеты обладают неустойчивыми, а новые магистральные самолеты малоустойчивыми аэродинамическими компоновками, что позволяет существенно улучшить их маневренные и летно-технические характеристики (ЛТХ) [2, 3]. Однако для практической реализации



ЕРМАКОВ
Сергей Александрович — профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доктор техн. наук



КОНСТАНТИНОВ
Сергей Валентинович — заместитель главного конструктора ОАО "Компания Сухой", профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доктор техн. наук



КУЗНЕЦОВ
Иван Павлович — инженер-конструктор ОАО "ПМЗ "Восход", аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета)



ОБОЛЕНСКИЙ
Юрий Геннадиевич — начальник отделения ОАО "РСК "МиГ", профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), доктор техн. наук

ской системы, расположенной в центроплане, с помощью гидравлического мотор-насоса.

Наихудшими комбинациями функциональных отказов для такого комплекса управления рулем высоты с использованием двухрежимного рулевого привода с разнородным резервированием и типовых ЭГРП (см. рис. 1) являются:

отказ одной независимой электросистемы, например ЭС1, или отказ локальной гидравлической системы (ЛГС) энергопитания приводов руля направления и руля высоты;

отказ централизованной гидравлической системы ЦГС1.

После двух последовательных отказов энергетических систем для управления самолетом по тангажу сохраняется полноценное управление двумя поверхностями руля высоты, а для управления самолетом по курсу остается один электрогидравлический привод (РН1), который обеспечивает управление полетом, но с уменьшенной эффективностью. Такая общесистемная ситуация при сильном боковом ветре может рассматриваться как близкая к сложной ситуации, в которой при сильном боковом ветре значительно ухудшаются характеристики системы управления по курсу.

Вероятность возникновения указанной выше общесистемной ситуации вследствие появления двух рассмотренных функциональных отказов оценивается величиной

$$F_{(2)\max} = (0,24...0,42)t_{\text{п}} \cdot 10^{-8},$$

а за один час полета —

$$F_{(2)\max} \approx (0,24...0,42) \cdot 10^{-8}.$$

Это является приемлемым для перспективного магистрального самолета.

Итак, оценка направлений развития систем рулевых приводов и результаты выполненных авторами исследований и разработок показывают, что существующая ныне тенденция повышения уровня электрификации силовых са-

молетных систем неизбежно связана с понижением уровня безотказности систем управления полетом.

Для обеспечения требуемых уровней безотказности систем управления и подтвержденного технического ресурса целесообразно использование двухрежимных (гибридных) приводов, сочетающих высоконадежные и отработанные гидравлические механизмы с электромеханическими мехатронными модулями. Для жизненно важных поверхностей управления полетом независимо от кратности резервирования электронных трактов управления электрогидравлических приводов необходимо использовать разнородное резервирование, обеспечивающее работу системы приводов при полном выходе из строя электронных централизованных каналов управления.

Библиографический список

1. **Концепция** развития систем рулевых приводов перспективных самолетов / П.Г. Редько, С.А. Ермаков, А.М. Селиванов и др. // Сб. тез. Междунар. конференции "Новые рубежи авиационной науки". ЦАГИ, 2007.
2. **Константинов С.В., Кузнецов В.Е., Поляков Н.Д., Редько П.Г., Трифонова О.И.** Электрогидравлические приводы с адаптивным управлением маневренных самолетов. СПб.: Изд. ЛЭТИ, 2011. 511 с.
3. **Аэродинамика** и динамика полета магистральных самолетов / под ред. Г.С. Бюшгенса. Москва—Пекин. Изд. ЦАГИ. 1995.
4. **Константинов С.В., Кувшинов В.М., Кузнецов И.П., Паршин А.А., Редько П.Г., Стеблин А.И., Халецкий Л.В.** Перспективы и проблемы создания рулевых приводов с электрическим энергопитанием // Вестник Московского авиационного института. 2013. № 2. Т. 20. С. 148—158.
5. **Andrieu L. & Nourmamod E.** The A340-500/600 Fly by wire rudder control // SAE A6 meeting. Airbus. Toulouse, France, 16 Oct. 2002.
6. **Markus Bildstein.** A380 Spoiler Electrical Back-up Hydraulic Actuator (A380 Spoiler EBHA) // SAE A-6 Symposium, Toulouse, France, 17 Oct. 2002 // Liebherr — Aerospace Lindenberg // GmbH. Germany.
7. **Авиационные правила.** Ч. 25 / Нормы летной годности самолетов транспортной категории. М.: Изд. Межгосударственного авиационного комитета, 2009.



ВЕРБА
Владимир Степанович —
генеральный директор —
генеральный конструктор
АО "Концерн "Вега",
профессор,
доктор техн. наук



МЕРКУЛОВ
Владимир Иванович —
заместитель генерального
конструктора
АО "Концерн "Вега",
профессор,
доктор техн. наук

Робототехнические комплексы на основе беспилотных летательных аппаратов. Проблемы группового управления

В.С. Верба, В.И. Меркулов

E-mail: mail@vega.su

На основе анализа особенностей военно-технического противоборства рассмотрены терминологические, теоретические, прикладные, информационные и технологические проблемы, которые необходимо решить для обеспечения совместного функционирования робототехнических комплексов на базе беспилотных летательных аппаратов в составе группы.

Ключевые слова: робототехнические комплексы; беспилотные летательные аппараты; групповое управление; уровни интеллекта.

V.S. Verba, V.I. Merkulov. Group Control Of Unmanned Aerial Robotic Systems

A review of terminological, theoretical, engineering, informational and technological challenges of securing confunction of unmanned aerial robotic systems as a group is conducted.

Keywords: robotic systems; unmanned aerial vehicles; group control; intelligence levels.

Анализ концепции сетецентрических войн позволяет констатировать усиление значимости воздушно-космических средств как нападения, так и защиты. Это связано с реализацией следующих направлений развития [1, 2]:

расширение боевых возможностей летательных аппаратов (ЛА) различного назначения;

снижение потерь личного состава;

снижение экономических затрат на производство и боевое применение ЛА;

усиление роли групповых действий вплоть до проявления эффекта "роя";

использование оружия на новых физических принципах, в частности электромагнитного оружия (ЭМО).

Наиболее рациональным способом реализации этих направлений является использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Однако использование БЛА в постоянно изменяющихся сложных условиях применения требует качественного улучшения их "интеллекта", что и предопределило использование в приложении к ним достаточно спорного термина "робототехнические комплексы" (РТК) воздушного базирования (ВБ).

Робот — это машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением [3], что подразумевает ее способность, используя разнородные датчики информации, осуществлять анализ обстановки и ее прогнозирование, принимать решения, выполнять определенные действия по их выполнению и проводить анализ результатов.

сжатие больших потоков видовых данных на основе вейвлет-преобразований;

высокоскоростная помехоустойчивая передача информации в радиоканалах;

криптографическая защита конфиденциальности данных.

Для реализации групповых действий высокоэффективных РТК воздушного базирования в ближайшее время необходимо решить следующие проблемы:

разработка сценариев группового применения БЛА особенно при решении ударных задач;

формализация описания групповых действий, ориентированная на выполнении как разведывательных, так и ударных задач;

разработка критериев эффективности и показателей качества групповых действий при различных вариантах применения, позволяющих использовать их в процедурах оптимизации;

детальный анализ преимуществ и недостатков различных способов управления (централизованное, иерархическое, сетевое, стайное), направленный на определение областей применения;

разработка методов оптимизации групповых действий БЛА, обеспечивающих качественное снижение размерности решаемых задач при синтезе управления и его информационного обеспечения;

разработка конкретных алгоритмов оптимального управления групповыми действиями различных типов БЛА при решении разведывательных и ударных задач, в том числе с созданием эффекта "роя";

рациональное распределение интеллектуальных функций между оператором и БЛА при использовании различных вариантов управления и решении разных боевых задач;

повышение уровня интеллектуальности РТК, в том числе за счет использования технологий экспертных систем поддержки принятия решений;

разработка алгоритмов реконфигурации группы при появлении отказов и потерь;

разработка алгоритмов оптимального оценивания при одновременном приходе измерений;

разработка упрощенных адаптивных алгоритмов многоцелевого сопровождения с бесстробовой идентификацией измерений;

разработка высокодостоверных алгоритмов распознавания целей и ранжирования их по степени важности;

создание высокоскоростных радиосетей обмена информацией оператора с БЛА, БЛА между собой, а также способов сжатия и защиты информации;

повышение скрытности и помехоустойчивости радиообмена;

унификация протоколов обмена информацией;

качественное повышение быстродействия используемых процессоров.

Отметим, что часть проблем теоретического плана уже решена и прошла проверку в рамках инициативных работ отдельных организаций. Однако необходимо проведение более объемных НИР в этой области с переходом на опытно-конструкторские работы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-08-01176-а.

Библиографический список

1. Федосов Е.А. Реализация сетевых технологий ведения боевых действий потребует создания БРЛС нового поколения // Фазотрон. 2007. № 1, 2.
2. Верба В.С. Авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения как элемент сетевых технологий информационно-управляющей системы // Радиотехника. 2008. № 9. С. 26—30.
3. Советский энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1984.
4. Каляев И.А. и др. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: Физматлит, 2009. 280 с.
5. Меркулов В.И. и др. Авиационные системы радиоуправления. Т. 3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения / под ред. А.И. Канашенкова и В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
6. Верба В.С., Меркулов В.И. Оптимизация децентрализованного группового управления беспилотными летательными аппаратами // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2014. № 3. С. 7—11.
7. Меркулов В.И. Групповое управление беспилотными летательными аппаратами в задачах мониторинга земной поверхности // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 1. С. 30—38.
8. Ярлыков М.С. и др. Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 1. Теоретические основы / под ред. М.С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012. 504 с.

Жизнь, отданная авиации

К 90-летию со дня рождения Олега Сергеевича Самойловича

Статья посвящена памяти Олега Сергеевича Самойловича — известного авиаконструктора и ученого, доктора технических наук, профессора, лауреата Ленинской премии и премии Совета Министров СССР, заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации.

Life Devoted to Aviation. To ninetieth birthday of Oleg Sergeyevich Samoiylovich

The article is sanctified to memory of the Oleg Sergeyevich Samoiylovich — the known aircraft designer and scientist, Doctor of Engineering Science, Professor, Laureate of the Leninist Bonus and Bonus of Council of Ministers of the USSR, Honoured Worker of Science and Technology of Russian Federation.

Олег Сергеевич Самойлович родился 11 апреля 1926 г. в Орле в семье преподавателя русского языка и литературы. В 1929 г. семья переехала в Калугу. В 1934 г. Олег поступил в среднюю школу, но закончить ее помешала начавшаяся Великая Отечественная война.

После окончания восьмого класса Самойлович уехал в Москву и в марте 1942 г. поступил на работу токарем на 1-й Московский ГПЗ, а в октябре 1942-го — в Московский политехникум Министерства заготовок. Уже через год, в октябре 1943-го, он был призван в ряды Советской армии и зачислен курсантом 8-го отдельного учебного автобронетанкового полка, дислоцировавшегося в Гороховецких лагерях (Горьковская область).

С июля 1944 г. по май 1945 г. Олег Сергеевич воевал в действующей армии в одной из частей 3-й Гвардейской танковой армии 1-го Украинского фронта, сначала как механик-водитель, а затем

командир танка. Он участвовал в боях за освобождение Западной Украины, Польши и Германии. 9 мая 1945 г. Олег Сергеевич встретил в Праге.



Олег Сергеевич Самойлович (1926—1999)

После окончания Великой Отечественной войны О.С. Самойлович продолжал службу в составе Группы советских оккупационных войск в Германии, а затем Центральной группы войск в Чехословакии и Австрии. Демобилизовался в октябре 1950 г. За время службы был награжден орденом Красной Звезды и тремя медалями СССР, а также медалями ПНР и ЧССР. Службу закончил в звании старшины.

В октябре 1950 г. Олег Сергеевич продолжил прерванное обучение в Московском политехникуме, а в сентябре 1951 г. он поступил в МАИ, который окончил с отличием в феврале 1957 г.

С учетом права выбора он был распределен на работу в КБ П.О. Сухого в бригаду общих видов.



Со студентами МАИ, 1990-е гг.

По совместительству он продолжал работать на кафедре 101 МАИ. В 1993 г. О.С. Самойлович окончательно переходит на штатную работу в МАИ в качестве профессора, заведующего кафедрой.

О.С. Самойлович ушел из жизни 3 октября 1999 г.

Олег Сергеевич Самойлович награжден орденами Октябрьской революции, Отечественной войны, Красной Звезды, Трудового Красного Знамени, Знак Почета и четырнадцатью медалями.

Материал подготовлен сотрудниками ОКБ имени Сухого и МАИ.

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, Стромынский пер., 4

Редактор номера *О.Г. Красильникова*

Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *З.В. Наумова*

Сдано в набор 04.04.16. Подписано в печать 05.05.16. Формат 60 × 88/8. Усл. печ. л. 9,8.

Бумага офсетная. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.