



**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

**Л.А. ГИЛЬБЕРГ** – зам. Главного редактора, академик РАКЦ и Академии наук авиации и воздухоплавания

Члены редакционной коллегии

- В.В. АЛАВЕРДОВ, д.т.н.
- А.А. АЛЕКСАНДРОВ, д.т.н.
- А.П. АЛЕКСАНДРОВ, к.т.н., летчик-космонавт
- Б.С. АЛШИН, чл.-кор. РАН
- Б.В. БАЛЬМОНТ, академик РАКЦ
- А.Н. ГЕРАЩЕНКО, д.т.н., проф.
- В.Г. ДМИТРИЕВ, чл.-кор. РАН,
- П.И. КАТОРГИН, академик РАН, проф.
- П.И. КЛИМУК, летчик-космонавт
- А.А. ЛЕОНОВ, к.т.н., летчик-космонавт
- А.М. МАТВЕЕНКО, академик РАН, проф.
- А.Г. МИЛЬКОВСКИЙ, к.т.н.
- С.В. МИХЕЕВ, академик РАН
- Н.Ф. МОИСЕЕВ, к.т.н.
- Ф.Н. МЯСНИКОВ, инж.
- А.Н. ПЕРМИНОВ, д.т.н.
- М.А. ПОГОСЯН, академик РАН
- Г.Г. РАЙКУНОВ, д.т.н.
- В.В. ТЕРШКОВА, летчик-космонавт
- 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
  - О.М. АЛИФАНОВ, чл.-кор. РАН, проф.
  - Н.А. АНФИМОВ, академик РАН
  - И.В. БАРМИН, чл.-кор. РАН, проф.
  - В.Е. БАРСУК, д.т.н.
  - Ю.О. БАХВАЛОВ, д.т.н., проф.
  - В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф.
  - А.Ф. ВОЙНОВ, д. филос. наук
  - М.Б. ГУЗАИРОВ, д.т.н.
  - В.А. ДАВЫДОВ, к.э.н.
  - А.Ю. ДАНИЛЮК, к.т.н., проф.
  - Г.Л. ДЕГТЯРЕВ, д.т.н., проф.
  - О.Ф. ДЕМЧЕНКО, к.э.н.
  - Н.Н. ДОЛЖЕНКОВ, д.т.н.
  - Ю.С. ЕЛИСЕЕВ, д.т.н.
  - С.Ю. ЖЕЛТОВ, чл.-кор. РАН
  - Л.М. ЗЕЛЕНЬКИЙ, 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.
  - В.А. МЕНЬШИКОВ, д.т.н.
  - Т.А. МУСАБАЕВ, д.т.н., летчик-космонавт
  - Н.Г. ПАНИЧКИН, к.ф.-м.н.
  - К.М. ПИЧХАДЗЕ, д.т.н., проф.
  - С.С. ПОЗДНЯКОВ, инж.
  - В.А. ПОЛЕТАЕВ, д.т.н., проф.
  - Ю.А. РЫЖОВ, академик РАН, проф.
  - Г.Г. САЙДОВ, к.т.н.
  - А.Г. САМУСЕНКО, инж.
  - В.Г. СВЕТЛОВ, д.т.н.
  - А.Н. СЕРЬЕЗНОВ, д.т.н.
  - М.Ю. СМУРОВ, д.т.н.
  - В.П. СОКОЛОВ, д.т.н., проф.
  - А.В. СОЛЛОГУБ, д.т.н., проф.
  - В.А. СОЛОВЬЕВ, чл.-кор. РАН, летчик-космонавт
  - В.В. ШАЛАЙ, д.т.н., проф.
  - В.А. ШАТАЛОВ, летчик-космонавт

Представители журнала:  
г. Казань: Р.И. АДГАМОВ, тел. 8 (843) 238-46-23  
Минобороны РФ: В.В. ДРИК, тел. 8 (495) 696-07-97  
г. Уфа: О.Б. СЕВЕРИНОВА, тел. 8 (3472) 73-07-23  
Франция, Париж: Е.Л. ЧЕХОВ, тел. (10331) 47-49-28-05

© ООО "Машиностроение – Полет", 2015

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Акимов В.Н., Архангельский Н.И., Елисеев И.О., Коротеев А.С., Кувшинова Е.Ю.** Использование буксира с ядерной электроракетной двигательной установкой для реализации перспективной лунной программы на базе ракет-носителей "Ангара" . . . . . 3

**Леонов А.Г., Довгодуш С.И., Петровский В.С.** Системный подход к организации международного сотрудничества в области космической деятельности . . . . . 10

**Васюкова Д.А., Колозезный А.Э., Юранев О.А.** Квалификация способов расчета захолаживания крупногабаритной испытательной сборки "криогенного" топливного бака РКН при свободной конвекции газообразного хладагента . . . . . 18

**Рахманин В.Ф.** Некоторые аспекты разработки двигателей РД170 (171) для ракет-носителей "Энергия" и "Зенит" . . . . . 25

**Бомштейн К.Г.** Противодействие современных систем ПВО нападению беспилотных летательных аппаратов противника . . . . . 35

**Анцев Г.В., Петров В.А.** Интегральные оценки (показатели) пригодности моделей гравитационного поля Земли для решения задач управления движением . . . . . 43

**Фаворский Е.К.** Инженерный подход к реализации систем, оптимальных по быстродействию . . . . . 53

*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://www.viartpolet.ru>*

Адрес редакции: 107076, Москва, Стромьинский пер., 4  
Телефон: 8 (499) 269-54-97  
Адрес электронной почты: [rospolet@mail.ru](mailto:rospolet@mail.ru)  
Адрес в интернете: <http://www.viartpolet.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 (Aviation), Acad., RAS

**A.S. KOROTEYEV –**

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

**L.A. GILBERG –**

Deputy Editor-in-Chief, Acad.,  
RACTs&Acad., AAAS

**Board Members of Editorial**

- V.V. ALAVERDOV, Dr. Sci. (Eng.)
- A.A. ALEKSANDROV, Dr. Sci. (Eng.)
- A.P. ALEKSANDROV, Cand. Sci. (Eng.), Pilot-Cosmonaut
- B.S. ALESHIN, Corresp. Member, RAS
- B.V. BALMONT, Member, RACTs
- A.N. GERASHCHENKO, Dr.Sci. (Eng.), Prof.
- V.G. DMITRIYEV, Corresp. Member, RAS
- B.I. KATORGIN, Acad., RAS, Prof.
- P.I. KLIMUK, Pilot-Cosmonaut
- A.A. LEONOV, Cand. Sci. (Eng.), Pilot-Cosmonaut
- A.M. MATVEYENKO, Acad., RAS, Prof.
- A.G. MILKOVSKIY, Cand. Sci. (Eng.)
- S.V. MIKHEYEV, Acad., RAS
- N.F. MOISEEV, Cand. Sci. (Eng.)
- F.N. MYASNIKOV, Eng.
- A.N. PERMINOV, Dr. Sci. (Eng.)
- M.A. POGOSYAN, Acad., RAS
- G.G. RAYKUNOV, Dr. Sci. (Eng.)
- V.V. TERESHKOVA, Pilot-Cosmonaut
- 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.

**Editor Organizer**

O.S. RODZEVICH

**Members of Editorial Committee**

- A.M. MATVEYENKO, Chair of Edit. Committee
- O.M. ALIFANOV, Corresp. Member, RAS, Prof.
- N.A. ANFIMOV, Acad., RAS
- I.V. BARMIN, Corresp. Member, RAS, Prof.
- V.E. BARSUK, Dr. Sci. (Eng.)
- Yu.O. BAKHVALOV, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- V.F. BEZYAZYCHNYI, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- A.F. VOINOV, Dr. Sci. (Ph)
- M.B. GUZAIROV, Dr. Sci. (Eng.)
- V.A. DAVIDOV, Cand. Sci. (Econ.)
- A.Yu. DANILYUK, Cand. Sci. (Eng.), Prof.
- G.L. DEGTYAREV, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- O.F. DEMCHENKO, Cand. Sci. (Econ.)
- N.N. DOLZHENKOV, Dr. Sci. (Eng.)
- Yu.S. ELISEYEV, 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. LYOVOCHKIN, Dr. Sci. (Eng.)
- L.N. LYSENKO, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- A.P. MANIN, Dr. Sci. (Eng.)
- V.A. MENSHIKOV, Dr. Sci. (Eng.)
- T.A. MUSABAYEV, Dr. Sci. (Eng.), Pilot-Cosmonaut
- N.G. PANICHKIN, Cand. Sci. (Phys.-Math.)
- K.M. PICHKHADZE, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- S.S. POZDNYAKOV, Eng.
- V.A. POLETAYEV, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- Yu.A. RYZHOV, Acad., RAS, Prof.
- G.G. SAYDOV, Cand. Sci. (Eng.)
- A.G. SAMUSENKO, Eng.
- V.G. SVETLOV, Dr. Sci. (Eng.)
- A.N. SERYOZNOV, Dr. Sci. (Eng.)
- M.Yu. SMUROV, Dr. Sci. (Eng.)
- V.P. SOKOLOV, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- A.V. SOLLOGUB, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- V.A. SOLOV'EV, Corresp. Member, RAS, Pilot-Cosmonaut
- V.V. SHALAY, Dr. Sci. (Eng.), Prof.
- V.A. SHATALOV, Pilot-Cosmonaut

**Representatives of the journal:**

**Kazan: R.I. ADGAMOV, phone 8 (843) 238-46-23**  
**Ministry of Defence of Russian Federation:**  
**V.V. DRIK, phone 8 (495) 696-07-97**  
**Ufa: O.B. SEVERINOVA, phone 8 (3472) 73-07-23**  
**France, Paris: E.L. TCHEHOV, phone (10331) 47-49-28-05**

© Ltd Co "Mashinostroenie – Polyot", 2015

**CONTENTS**

**Akimov V.N., Arkhangel'sky N.I., Eliseev I.O., Koroteev A.S., Kuvshinova E.Yu.** The Use Of The Tug With Nuclear Electric Rocket Propulsion System For The Realization Of Advanced Lunar Program Based On Launchers "Angara" . . . . . 3

**Leonov A.G., Dovgodush S.I., Petrovskiy V.S.** About System Approach To The Organization And Carrying Out The International Cooperation In Space Activity . . . . . 10

**Vasyukova D.A., Kolozezny A.E., Yuranev O.A.** Qualification Of Method For Prediction Of Gas Free Convection Cooling Of The Full-scaled test Article Of A Launcher Cryogenic Tank . . . 18

**Rahmanin V.F.** Some Aspects Of Engine Development RD170 (RD171) For Launch-Vehicles "Energia" And "Zenit" . . 25

**Bomstein K.G.** The Counter Effort Of The Modern Air Defense Systems Against The Enemy UAVs Attack . . . . . 35

**Antsev G.V., Petrov V.A.** Integral Assessment (Indicators) Of The Suitability Of Gravitation Field Of The Earth Models For Motion Control Problems Solving . . . . . 43

**Favorskiy E.K.** Engineering Approach To Realization Of Systems-Optimal. . . . . 53

*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://www.viartpolet.ru>*

**Address of the editorial office:** 107076, Moscow, Stromynsky per., 4  
**Phone:** 8 (499) 269-54-97  
**E-mail address:** [rosipolet@mail.ru](mailto:rosipolet@mail.ru)  
**Internet address:** <http://www.viartpolet.ru>

УДК 629.7

# Использование буксира с ядерной электроракетной двигательной установкой для реализации перспективной лунной программы на базе ракет-носителей "Ангара"

**В.Н. Акимов, Н.И. Архангельский, И.О. Елисеев, А.С. Коротеев, Е.Ю. Кувшинова**

E-mail: kerc@elnet.msk.ru

*Рассмотрена возможность использования многоразовых межорбитальных буксиров с ядерной электроракетной двигательной установкой для транспортировки грузов на окололунную орбиту и осуществления перспективной лунной пилотируемой программы на базе ракет-носителей тяжелого класса семейства "Ангара".*

**Ключевые слова:** многоразовый межорбитальный буксир; ядерная энергоустановка; электроракетная двигательная установка.

**V.N. Akimov, N.I. Arkhangelsky, I.O. Eliseev, A.S. Koroteev, E.Yu. Kuvshinova.**  
The Use Of The Tug With Nuclear Electric Rocket Propulsion System For The Realization Of Advanced Lunar Program Based On Launchers "Angara"

*The possibility of using the reusable interorbital tugs with nuclear electric rocket propulsion system for cargoes transportation to the lunar orbit and the implementation of advanced manned lunar program based on launchers of heavy-class family "Angara".*

**Key words:** reusable interorbital tug; nuclear power system; electric rocket propulsion system.

**Д**олгосрочные планы изучения и освоения Луны связывают с разработкой и использованием ракет-носителей сверхтяжелого класса (РН СТК) с грузоподъемностью на низкую опорную орбиту (НОО) на первом этапе (РН СТК-1) не менее 80 т, на втором этапе (РН СТК-2) — 160 т и более.

На базе РН СТК-1 в комплексе с кислородно-водородным разгонным блоком (КВРБ) сверхтяжелого класса возможна реализация двухпусковых схем пилотируемых экспедиций на поверхность Луны. РН СТК-2 позволят реализовать однопусковые схемы посещения Луны.

Создание и эксплуатация сверхтяжелых средств выведения потребуют существенного наращивания производственных мощностей ракетно-космической промышленности. В случае реализации крупномасштабной пилотируемой лунной программы с созданием постоянно действующей лунной базы расходы на космическую деятельность увеличатся примерно на порядок по сравнению с современным уровнем. При этом для решения традиционных задач в околоземном и дальнем космосе (связь, дистанци-



**АКИМОВ**  
Владимир Николаевич —  
начальник отдела  
Центра Келдыша



**АРХАНГЕЛЬСКИЙ**  
Николай Иванович —  
ведущий научный сотрудник  
Центра Келдыша,  
кандидат техн. наук



**ЕЛИСЕЕВ**  
Игорь Олегович —  
начальник сектора  
Центра Келдыша,  
кандидат техн. наук



**КОРОТЕЕВ**  
Анатолий Сазонович —  
генеральный директор  
Центра Келдыша,  
академик РАН



**КУВШИНОВА**  
Екатерина Юрьевна —  
ведущий инженер  
Центра Келдыша

Характеристики многоразового буксира с ЯЭРДУ в задаче доставки ПГ на ОИСЛ

Используемая РН	$N_{ЯЭУ}$ , МВт	$I_y$ , с	$T_{выв.}$ , сут	$m_{ПГед}$ , т	$m_{ПГ\Sigma}$ , т	$C_{уд.}$ , тыс. руб./кг	$C_{РБ\Sigma}/C_{ММБ\Sigma}$
"Ангара-А5В"	1	7126	227	22,7	250	264,0	2,00
	2	8384	155	22,0	329	272,0	1,96
"Ангара-А7В"	1	6236	237	29,9	329	243,5	2,20
	2	8159	175	30,5	427	237,4	2,25

ставленных буксиром за САС — с ~ 260 т до ~ 240 т. При этом стоимость доставки ПГ на ОИСЛ будет в два раза ниже по сравнению с транспортной системой на базе РН СТК-1 и КВРБ СТК-1.

Рациональные проектные параметры многоразового буксира (удельный импульс тяги ЭРДУ  $I_y$ , время выведения ПГ с ОБ на ОИСЛ  $T_{выв.}$ , массы выводимых на ОИСЛ полезных грузов в единичном рейсе  $m_{ПГед}$  и за САС буксира  $m_{ПГ\Sigma}$ , удельная стоимость доставки ПГ на ОИСЛ  $C_{уд}$  и относительный выигрыш в стоимости доставки ПГ на ОИСЛ от применения ММБ вместо КВРБ СТК-1  $C_{РБ\Sigma}/C_{ММБ\Sigma}$ ) для вариантов с ЯЭУ мощностью 1 и 2 МВт, используемых в комплексе с РН "Ангара-А5В" и РН "Ангара-А7В", приведены в таблице.

Приведенные результаты позволяют рассматривать создание грузовой транспортной системы на основе ММБ с ЯЭРДУ мегаваттного класса и РН тяжелого класса "Ангара-А5В" как способ, обеспечивающий возможность реализации начального этапа пилотируемой программы по исследованию и освоению Луны, не дожидаясь создания средств выведения сверхтяжелого класса и всей сопутствующей инфраструктуры по их изготовлению, транспортировке и проведению пусков. Это позволит значительно снизить как суммарные объемы, так и пиковые нагрузки по финансированию этого этапа программы.

Итак, при использовании РН тяжелого класса "Ангара-А5В" грузоподъемностью до ~ 37 т и ММБ с ЯЭУ электрической мощностью 1 МВт обеспечивается возможность доставки на полярную окололунную орбиту высотой  $H = 200$  км квантов ПГ массой ~ 23 т одним пуском РН, что эквивалентно энергетическим возможностям сверхтяжелых средств выведения первого этапа —

РН СТК-1 грузоподъемностью 80 т и кислородно-водородного РБ СТК-1. При использовании РН "Ангара-А7В" грузоподъемностью 50 т и ММБ с ЯЭУ электрической мощностью 1...2 МВт имеется возможность доставки на полярную орбиту Луны квантов ПГ массой 28...32 т.

Транспортная система на базе ММБ с ЯЭРДУ в комплексе с РН "Ангара-А5В" или РН "Ангара-А7В" позволяет примерно в два раза уменьшить стоимость транспортных операций по доставке грузов на ОИСЛ за САС ММБ по сравнению с вариантом использования РН и РБ сверхтяжелого класса при одинаковом суммарном грузопотоке и обеспечить возможность реализации начального этапа долговременной лунной пилотируемой программы, не дожидаясь ввода в эксплуатацию средств выведения сверхтяжелого класса.

#### Библиографический список

1. **Коротеев А.С.** Новый этап развития космической энергетики // Вестник Российской академии наук. Т. 82. 2012. № 4.
2. **Коротеев А.С., Ошев Ю.А., Попов С.А.** и др. Ядерная энергодвигательная установка космического аппарата // Изв. РАН. Сер. Энергетика.
3. **Афанасьев И., Воронцов Д.** Перспективные средства выведения России и Украины // Новости космонавтики. 2008. № 8 (307). С. 60—63.
4. **Нестеров В.Е., Кузин А.И., Бахвалов Ю.О.** Перспективы создания тяжелых и сверхтяжелых ракет-носителей // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2009. № 3. С. 3—8.
5. **Первый полет "Ангара-А5В"** с грузомaketом состоится с Восточного в 2023 году. Экспресс-информация "Космическая деятельность России и стран мира" / ООО "ЦНТИ "Поиск". 24 апреля 2015 г. С. 15.
6. **Кувшинова Е.Ю.** Методика определения оптимальной траектории перелета с малой тягой между околоземной и окололунной орбитами // Эл. журнал "Труды МАИ". Вып. № 68. 03 сентября 2013 г.



**ЛЕОНОВ**  
Александр Георгиевич —  
генеральный директор,  
генеральный конструктор  
АО "ВПК "НПО  
машиностроения",  
доктор техн. наук



**ДОВГОДУШ**  
Сергей Иванович —  
помощник генерального  
директора АО "ВПК "НПО  
машиностроения",  
кандидат техн. наук



**ПЕТРОВСКИЙ**  
Владимир Степанович —  
главный научный  
сотрудник АО "ВПК "НПО  
машиностроения",  
кандидат техн. наук

## Системный подход к организации международного сотрудничества в области космической деятельности

**А.Г. Леонов, С.И. Довгодуш, В.С. Петровский**

E-mail: vpk@npomash.ru; vpk@npomash.ru; desnavp2@mail.ru

*Рассматривается применение системного подхода для решения многоаспектных прикладных проблем организации и проведения международного сотрудничества в области космической деятельности с позиций разработки, производства и эксплуатации космической техники.*

**Ключевые слова:** международное космическое сотрудничество; совместная разработка; головное предприятие; системный подход; многоаспектный анализ; сферы государственной деятельности; цели сотрудничества; реализуемость проекта; эффективность сотрудничества.

**A.G. Leonov, S.I. Dovgodush, V.S.Petrovskiy.** System Approach To The Organization Of The International Cooperation In Space Activity

*Application of system approach for the solution of multidimensional applied problems of the organization and carrying out the international cooperation in space activity from positions of development, production and operation of space equipment is considered.*

**Key words:** international space cooperation; joint development; head enterprise; system approach; multidimensional analysis; spheres of the state activity; cooperation purpose; feasibility of the project; efficiency of cooperation.

**Д**ля России важно налаживание эффективных форм сотрудничества со странами, стремящимися к участию в космической деятельности. Такая деятельность охватывает реализацию глобальных инициатив в области прикладного использования космических технологий, в том числе под эгидой ООН, и региональных специализированных космических форумов и прикладных проектов.

При этом задачи международного сотрудничества могут состоять в осуществлении взаимодействия с зарубежными странами как в области использования, так и в области создания космической техники.

Международное сотрудничество может проявляться в развитии деловых связей посредством предоставления лицензий на применение технологий, в проведении запусков космических аппаратов, в оказании услуг по эксплуатации и использованию космических систем, в создании образцов космической техники по заказам стран. Особое место в этом сотрудничестве занимает проведение совместных работ российскими и зарубежными предприятиями по разработке, производству и эксплуатации космической техники, в том числе пилотируемой.

конкурентоспособность, и на них могут устанавливаться более высокие рыночные цены независимо от уровня затрат производителя.

Важно отметить, что при осуществлении международного сотрудничества в связи с многоаспектностью условий одним из важных факторов, оказывающих влияние на цену продукции, является степень участия государства в регулировании цены. Практика проведения международного сотрудничества головным предприятием кооперации показывает, что цели и условия проведения сотрудничества также должны рассматриваться с учетом всех основных аспектов государства. Это особенно важно при реализации проектов в форме совместной с иностранными государствами разработки и производства космической продукции для решения задач военно-технического сотрудничества. Конкурентоспособная цена продукции, определяемая на основе многоаспектного анализа и связанная с учетом факторов международного сотрудничества, может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от складывающихся условий и поставленных целей. Цена, определяемая на основании перечня системных факторов, может отличаться от цены на продукцию, исчисляемую методами оценки себестоимости.

В этой ситуации для адекватного назначения максимально возможной конкурентоспособной цены необходимо выполнить следующее условие: обоснование высоких эксплуатационных качеств, высокой целевой эффективности и преимуществ продукции сотрудничества по сравнению с аналогами следует проводить применительно к задачам, условиям и другим интересам государства-импортера. Эта работа проводится по инициативе и при участии головного предприятия.

Для обеспечения экономической эффективности проекта цена не должна опускаться до затрат. Однако такая ситуация возможна для достижения других государственных интересов (кроме экономических), но при условии выделения определенных государственных дотаций. В этом состоит один из важных факторов участия государства в регулировании цены на продукцию при осуществлении международного сотрудничества.

**Выводы.** Конкретная реализация изложенного системного подхода наиболее емко осуществлена АО "ВПК "НПО машиностроения" — головным предприятием кооперации — при организации и проведении работ в области военно-технического сотрудничества по созданию ракетной техники и международного сотрудничества в космической области при создании системы с КА радиолокационного наблюдения. Практический опыт международного сотрудничества показал целесообразность и необходимость применения специально сформированных прикладных методов системного подхода. Основу такого подхода составляют многоаспектный системный анализ, позволяющий сформировать полное множество необходимых и достаточных задач для реализации проекта с учетом степени влияния сфер государственной жизнедеятельности, а также усовершенствованные прикладные методы системного анализа, позволяющие находить области рациональных решений по реализации совместного проекта с обеспечением его высокой целевой и экономической эффективности при соблюдении требований национальной безопасности.

#### Библиографический список

1. **Бельянинов А.Ю.** Военно-техническое сотрудничество и интеграционные процессы в оборонно-промышленном комплексе России. М.: Изд. ИНИОН РАН, 2003. 249 с.
2. **Афанасьев В.Г.** Системность и общество. М.: Политиздат, 1980. 368 с.
3. **Леонов А.Г.** Аспекты государственного уровня при научно-техническом сотрудничестве // Тр. ИСА РАН. Т. 32 (2). 2008. С. 210—217.
4. **Леонов А.Г.** Военно-техническое сотрудничество с иностранными государствами по совместному созданию образцов ракетной техники. М.: Научный мир, 2009. 199 с.
5. **Довгодуш С.И., Леонов А.Г.** О матрице системной безопасности: спектр опасностей — меры их парирования // *Фундаментальные проблемы системной безопасности*. М.: Вузовская книга. 2008. С. 28—43.
6. **Ильичев А.В.** Начала системной безопасности. М.: Научный мир, 2003. 456 с.
7. **Семаев А.Н.** Финансово-экономическая деятельность головного предприятия кооперации при военно-техническом сотрудничестве. М.: Вузовская книга, 2012. 123 с.
8. **Петровский В.С., Грущанский В.А., Северцев Н.А.** Разработка методологии системного анализа и теоретического моделирования коррелированных локальных процессов, определяющих развитие сложной системы. Проект РФФИ. 2005. 123 с.



**ВАСЮКОВА**  
Дарья Андреевна —  
инженер 1-й категории  
ФГУП "ЦНИИмаш"



**КОЛОЗЕЗНЫЙ**  
Антон Эдуардович —  
начальник отдела  
ФГУП "ЦНИИмаш",  
кандидат физ.-мат. наук



**ЮРАНЕВ**  
Олег Александрович —  
начальник лаборатории  
ФГУП "ЦНИИмаш"

## Квалификация способов расчета захлаживания крупногабаритной испытательной сборки "криогенного" топливного бака РКН при свободной конвекции газообразного хладагента

**Д.А. Васюкова, А.Э. Колозезный, О.А. Юранев**

E-mail: dvasyukova@yandex.ru, akolozezny@yandex.ru, juranevoa@tsniimash.ru

*Современные конструкции топливных баков РКН близки к конструкционно-массовому совершенству. Поэтому при проведении их верификации должны имитироваться эксплуатационные температуры испытываемого объекта, вплоть до температуры кипения водорода (20 К). До настоящего времени в России не было стендов для прочностных испытаний, способных сообщить крупногабаритным конструкциям температуру в 20 К. Расчетными и экспериментальными методами обосновывается эффективная технология использования газообразного гелия в качестве хладагента при криогенно-статических испытаниях криогенных баков.*

**Ключевые слова:** захлаживание; криогенно-статические испытания; газообразный азот; теплофизический расчет; квалификация.

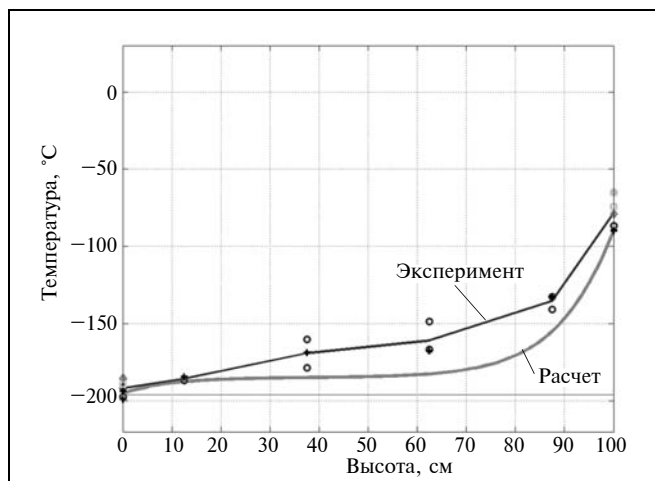
**D.A. Vasyukova, A.E. Kolozezny, O.A. Yuranev. Qualification Of Method For Prediction Of Gas Free Convection Cooling Of The Full-scaled test Article Of A Launcher Cryogenic Tank**

*Modern design and manufacturing technologies give us fuel tanks with almost perfect structure. But these almost perfect structures must be verified with exact simulation of all essential operational factors, especially temperature. So, hydrogen tanks should be tested being cooled down to the temperature of 20 K. There are no large stands for structural tests at the temperature of 20 K in Russia. Effective technology of tank cooling by gaseous helium for cryo structural testing has been proven by both analytical and experimental methods.*

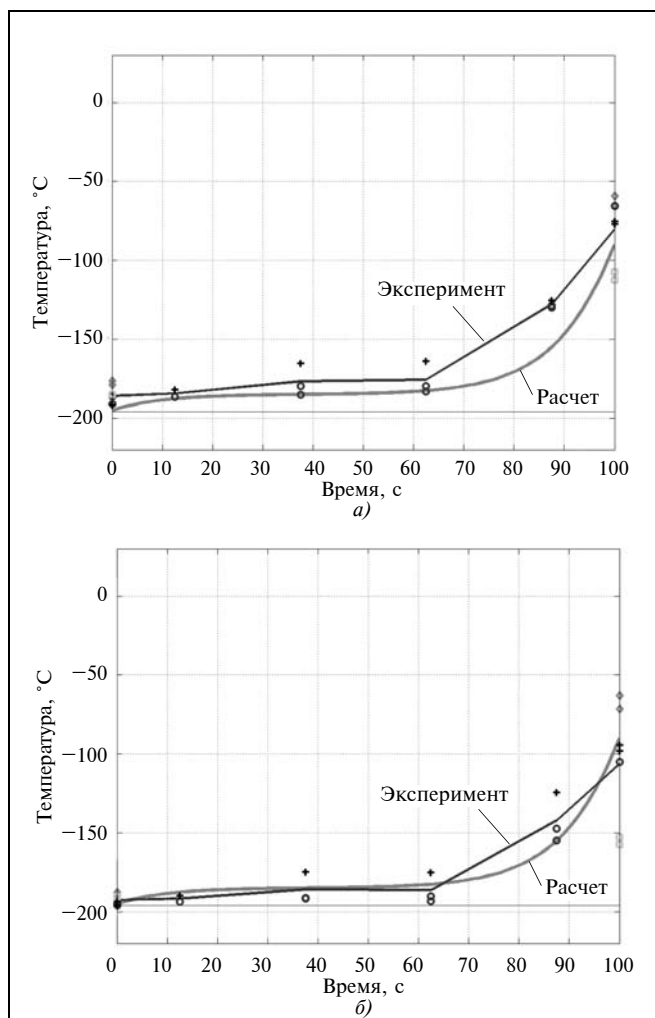
**Key words:** cooling; cryo-structural tests; gaseous nitrogen; thermo-physical analysis; qualification.

**В** ФГУП "ЦНИИмаш" на протяжении нескольких лет разрабатываются и отрабатываются новые технологии проведения криогенно-статических испытаний изделий ракетно-космической техники (РКТ) [1—3]. Это обусловлено в первую очередь необходимостью более реальной имитации температурных нагрузок, воздействующих на конструкции при эксплуатации, а также требованием повышения надежности и увеличения массово-конструктивного совершенства баков.

На сегодняшний день актуальными являются испытания водородных и метановых баков в связи с тем, что существующая технология испытаний с заливкой жидкого азота не позволяет имитировать эксплуатационные нагрузки.



**Рис. 6.** Теоретическая и экспериментальная кривые значений температуры через 2900 с после начала захлаживания



**Рис. 7.** Теоретическая и экспериментальная кривые значений температуры через 3200 с (а) и 3250 с (б) после начала захлаживания

образовавшейся трещины, во-вторых, за счет понижения температуры испаряющегося азота.

Этот механизм можно использовать для быстрого охлаждения баков, когда нет возможности заполнять баки жидким азотом целиком. Для этих целей необходимо наличие дренажа с глубоким регулированием, который имел бы такую производительность, за счет которой можно было бы быстро изменять давление в баке.

По данным испытаний маломасштабного бака квалифицирована расчетная схема, которая была использована для обоснования возможности захлаживания крупногабаритных баков до криогенных температур с помощью газообразного хладагента и которая в дальнейшем будет использована для расчетов охлаждения крупногабаритных сборок.

Предлагается метод захлаживания газообразным хладагентом использовать для захлаживания кислородных и метановых баков, причем наибольшая эффективность охлаждения будет на метановом баке за счет более высокой температуры кипения метана относительно кислорода. В исключительных случаях данную технологию можно использовать для охлаждения баков жидкого водорода.

**Библиографический список**

1. Васюкова Д.А., Колоезный А.Э., Юранев О.А. Использование криогенной гелиевой системы для имитации эксплуатационных температур при испытаниях на прочность баков жидкого водорода перспективных средств выведения // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 2 (67). С. 179–186.
2. Васюкова Д.А., Колоезный А.Э., Юранев О.А. Расчетное обоснование использования криогенной гелиевой установки для имитации эксплуатационных температур при испытаниях на прочность криогенных топливных баков ракет космического назначения // Инновационный арсенал молодежи: Тр. Третьей науч.-техн. конференции ФГУП "КБ "Арсенал". СПб., 2012. С. 280–282.
3. Васюкова Д.А., Колоезный А.Э., Юранев О.А. Эффективный подход к проведению зачетных прочностных испытаний криогенных баков перспективных средств выведения // Авиакосмическая техника и технология. 2013. № 1. С. 23–25.
4. ЦНИИМАШ. Центр исследований прочности. История развития / под ред. Н.Г. Паничкина. Королев: Изд. ЦНИИМаш, 2001.
5. Малков М.П., Данилов И.Б., Зельдович А.Г. и др. / под ред. М.П. Малкова. Справочник по физико-техническим основам криогеники. М.: Энергоатомиздат, 1985.

УДК 629.7

## Некоторые аспекты разработки двигателей РД 170(171) для ракет-носителей "Энергия" и "Зенит"

**В.Ф. Рахманин\***

E-mail: energo@online.ru

*Содержит сведения из истории разработки двигателей НК-15 и НК-33 в ОКБ под руководством Н.Д. Кузнецова для пилотируемого лунного комплекса Н1-Л3 и двигателей РД 170 и РД 171 в ОКБ под руководством В.П. Радовского для ракет-носителей "Энергия" и "Зенит". Рассмотрены технические характеристики и особенности конструкции указанных двигателей, показано, что при разработке двигателей РД 170(171) конструкторские решения, полученные при создании двигателей НК-15 и НК-33, не использовались.*

**Ключевые слова:** двигатели НК-33 и РД 170; лунная программа; конструкторские решения; технические характеристики; аварийные испытания; заимствование конструкции.

**V.F. Rahmanin. Some Aspects Of Engine Development RD170 (RD171) For Launch-Vehicles "Energia" And "Zenit"**

*This article contains some information about the history of development of LRE NK-15 and NK-33 in the company under the leadership of N. Kuznecov for manned lunar program LV N1-L3, and development of LRE RD170 (RD171) in the company under the leadership of V. Radovsky for LV "Energia" and "Zenit". The technical characteristics, the design features, are showed in this article. The author concluded that the design solutions obtained by the development of engines NK-15 and NK-33 were not used in the development of engines RD170 (RD171).*

**Key words:** NK-33 and RD170 engines; lunar program; design solutions; technical characteristics; engine test with failure; using of design solutions.

**В** мае 2014 г. исполнилось 40 лет со времени принятия правительством решения о прекращении проводимых работ по ракетному комплексу Н1. Эта дата не может считаться юбилеем ни по существующим канонам определения юбилейных дат, ни по существу самого события. Вместе с тем она подвела бесславный итог разработке первой отечественной сверхмощной космической ракеты Н1—Л3, предназначенной для пилотируемого полета на Луну. Несмотря на такое окончание, эта разработка оставила глубокий след в истории нашего космического ракетостроения.

Ракетный комплекс Н1 разрабатывался с начала 1960-х гг. до мая 1974 г. в обстановке строгой секретности, соответствующей требованиям того времени. Позднее, начиная с середины 90-х годов прошлого века, когда пелена сплошной секретности в области космонавтики была снята, в средствах массовой информации появилось множество публикаций о разработке ра-



**РАХМАНИН**  
Вячеслав Федорович —  
главный специалист  
ОАО "НПО Энергомаш  
им. академика В.П. Глушко",  
кандидат техн. наук

\*Бессменному автору журнала "Полет" Вячеславу Федоровичу Рахманину 17 сентября 2015 г. исполнилось 80 лет. Редакция поздравляет его с Юбилеем и желает крепкого здоровья, долгих лет жизни, творческих успехов.

# Противодействие современных систем ПВО нападению беспилотных летательных аппаратов противника

**К.Г. Бомштейн**

E-mail: grimarus@rambler.ru

*Анализируются предпосылки боевой готовности современных систем ПВО войск и объектов США и Израиля к отражению атаки боевых БЛА противника для обеспечения эффективного прикрытия войск и объектов, как в условиях поля боя, так и в условиях театра военных действий, на основе данных о боевой эффективности БЛА противника в составе сил воздушного нападения.*

**Ключевые слова:** боевая операция БЛА противника; запуск и спасение; полет по маршруту; аппаратное обеспечение борта БЛА; эффективность поиска и наблюдения; бортовое электронное оборудование БЛА; средства обнаружения и противодействия БЛА противника.

**K.G. Bomstein.** The Counter Effort Of The Modern Air Defense Systems Against The Enemy UAVs Attack

*The pre-requisites of military operational readiness of the modern systems of the Army Air Defense and the Local Air Defense of the USA and the Israel to the defeat of an attack of the enemy UAVs for affording effective protection of friendly military forces and assets both in conditions of the battle field and the theatre of war operations based on the enemy UAV combat effectiveness data on the strength of the Air Assault Forces were analyzed.*

**Key words:** enemy UAV military mission; launching and rescue; en-route flight; UAV airborne hardware; search and surveillance effectiveness; UAV airborne avionics; facilities for warning and counter effort against enemy UAV.

**Н**арастающее участие беспилотных летательных аппаратов (БЛА) военного назначения в силах воздушного нападения (СВН) оказывает существенное влияние на формирование качественного и количественного состава современных систем ПВО. От уровня этого состава зависит эффективность противодействия систем ПВО нападению БЛА противника. Проанализируем данную проблематику на примере ПВО США и Израиля.

При этом под БЛА военного назначения имеются в виду БЛА, выполняющие ударные функции, разведывательные функции, функции обеспечения [1, 2].

В свою очередь, БЛА, выполняющие ударные функции, делятся на *одноразовые* и *многократные* (самолетного типа, вертолетного типа, конвертопланы). БЛА, выполняющие разведывательные функции, делятся на *стратегические* (высотные (HALE (High-Altitude-Long-Endurance — высотный БЛА с большой продолжительностью полета) — высота полета 12 200...19 800 м, длительность более 24 ч) и средневысотные (MALE (Medium-Altitude-Long-Endurance — средневысотный БЛА с большой продолжительностью полета) — высота полета 6100...12 200 м, длительность более 24 ч) и *тактические* (ближнего радиуса действия (CR (Close Range)): миниатюрные (Micro) и малогабаритные (Mini); среднего радиуса действия (MR (Medium



**БОМШТЕЙН**  
Калман Григорьевич — старший научный сотрудник Московского авиационного института (национального исследовательского университета), кандидат техн. наук

стративных и промышленных центров, обеспечение непосредственной воздушной поддержки подразделениям сухопутных войск и ВМС, прикрытия их с воздуха [7].

Руководство средствами ПВО (истребительными эскадрильями, дивизионами ЗУР и подразделениями радиотехнического обеспечения) осуществляет заместитель командующего ВВС по ПВО. Вывод о необходимости качественного совершенствования национальной системы ПВО руководство страны сделало в 1991 г. во время войны в районе Персидского залива, когда израильские ЗРК использовались для уничтожения иракских ракет "Скад" класса "земля—земля", которые Ирак запускал по объектам, расположенным на территории Израиля. Однако действия сил и средств существовавшей тогда ПВО были признаны малоэффективными.

Для обеспечения защиты воздушного пространства Израиля, особенно вдоль северной границы, в последнее десятилетие были приняты меры по существенному переоснащению сил и средств ПВО с учетом возможности применением противником боевых БЛА.

Две крупнейшие компании оборонной и авиационно-ракетной промышленности страны — Rafael и IAI — совместно разработали две программы систем ПВО Spyder-SR(short range) и Spyder-MR (medium range) [8]. Первой программой предусмотрено построение системы ПВО ближнего радиуса действия, второй — среднего радиуса действия. Системы Spyder спроектированы для защиты от нападения штурмовиков, боевых вертолетов, бомбардировщиков, для противодействия БЛА и боевым БЛА противника, а также против оружия, запускаемого вне зоны действия ПВО. Эти системы обеспечивают надежную защиту особо важных объектов, а также эффективное непрерывное прикрытие войск в зоне боевых действий.

В этих системах применяется уникальная комбинация ракет двух типов: Derby (оснащена активной РЛС) и Python-5 (ракета "воздух—воздух", оснащена двухдиапазонной тепловизионной системой наведения). Обе системы обладают круговой зоной захвата цели, могут атаковать одновременно групповые цели, могут вести залповую стрельбу и стрельбу с короткими ос-

тановками, днем и ночью, в любых погодных условиях. Модульность систем и высокий уровень взаимозаменяемости составных элементов позволяет их самостоятельное или комбинированное применение путем формирования эшелонированной структуры ПВО, что обеспечивает ее более высокую боевую эффективность.

**Выводы.** 1. Формирование современных систем ПВО противодействия нападению БЛА противника должно удовлетворять требованиям по обеспечению срыва боевой операции противника на любом этапе от запуска до атаки включительно, основанного на знании характеристик систем БЛА противника и уязвимости этих систем.

2. Формирование в структуре ПВО систем оружия противодействия БЛА противника должно быть эффективным против многих типов боевых БЛА противника, что должно быть подкреплено точной разведывательной информацией и соблюдением модульного подхода при подборе как систем датчиков, так и систем оружия.

#### Библиографический список

1. **Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н., Себряков Г.Г., Сыпало К.И., Черноморский А.И.** Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 556 с.
2. **Моисеев В.С.** Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами. Казань: Изд. Республиканского центра мониторинга качества образования (Сер. Современная прикладная математика и информатика), 2013. 768 с.
3. **Beel J.J.** Anti-UAV defense requirements for ground forces and hypervelocity rocket lethality models. Thesis for the degree Master of science in operations research. US Naval Postgraduate School. Monterey, California. 1992. P. 109. [www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a252727](http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a252727).
4. **COMBINED ARMS FOR AIR DEFENSE.** Headquarters of Department of the Army. 1 June 1999. Washington, D.C. — pp. 48. [emilitarymanuals.com/pdf/AirDefenseArtillery/FM4](http://emilitarymanuals.com/pdf/AirDefenseArtillery/FM4).
5. **Bolkcom C.** Homeland Security: Defending U.S. Airspace. June 6, 2006. — pp. 6. [fpc.state.gov/documents/organization/68815](http://fpc.state.gov/documents/organization/68815).
6. **Missiles and space programs.** ARMY, October 2012. pp. 326—332.
7. **Алексеев А.** Военно-воздушные силы и ПВО Израиля // Зарубежное военное обозрение. 2002. № 2.
8. **Rafael's Air and Missile Systems.** [sibat.mod.gov.il/NR/rdonlyres/F384283A-4D55-4CFA](http://sibat.mod.gov.il/NR/rdonlyres/F384283A-4D55-4CFA).

# Интегральные оценки (показатели) пригодности моделей гравитационного поля Земли для решения задач управления движением

**Г.В. Анцев, В.А. Петров**

E-mail: ancev\_gv@radar-mms.local; raran@mail.ru

*Предложены интегральные оценки стохастической и систематической ошибок модели гравитационного поля Земли, позволяющие судить о возможности использования рассматриваемой модели при решении целевых задач внешней баллистики летательных аппаратов.*

**Ключевые слова:** модель; гравитационное поле Земли; полиномы Лежандра; элементы оскулирующей орбиты; параметры Земли; прогноз движения; точность.

**G.V. Antsev, V.A. Petrov.** Integral Assessment (Indicators) Of The Suitability Of Gravitation Field Of The Earth Models For Motion Control Problems Solving

*Proposed integrated estimation of stochastic and systematic errors of the model of the gravitational field of the Earth to make judgments about the suitability of the model to the use in the solution targets the external ballistics of the aircraft.*

**Key words:** model; gravitational field of Earth; Legendre polynomials; osculating orbit elements; parameters of Earth; forecast of motion; accuracy.

**В** настоящее время большой ряд задач управления движением решается с использованием модели гравитационного поля Земли (ГПЗ). С этой целью разными странами (в основном РФ и США) и организациями разработаны различные модели ГПЗ. Они содержат параметры (и их числовые значения) общего земного эллипсоида и гравитационного поля Земли. В Российской Федерации действующими сегодня являются параметры Земли 1990 г. (ПЗ-90).

Обычно каждая модель построена применительно к своей стандартной общеземной системе координат. Указанные модели строятся в виде конечной суммы членов ряда разложения гравитационного потенциала Земли по сферическим функциям в аргументах геоцентрической широты и долготы места летательного аппарата и его удаления от центра Земли либо на базе принятой в модели системы точечных масс. Здесь рассматривается модель, построенная на базе сферических функций. Помимо значений коэффициентов разложения указанные модели могут содержать и среднеквадратические ошибки определения коэффициентов.

Здесь полезно отметить: поскольку присоединенные функции Лежандра являются системой ортогональных функций на интервале аппроксимации, а значения их коэффициентов определяются оптимальной линейной фильтрацией большого объема экспериментальных данных, то ошибки опреде-



**АНЦЕВ**  
Георгий Владимирович — генеральный директор, генеральный конструктор ОАО "НПП "РАДАРммс", генеральный директор, генеральный конструктор ОАО "Моринформсистема "Агат", кандидат техн. наук



**ПЕТРОВ**  
Виктор Алексеевич — главный научный сотрудник ОАО "НПП "РАДАРммс", профессор, доктор техн. наук

$$\begin{aligned}
 fwh4 &= (1/\lambda r_{cp})[(2\cos\varphi - 3q_4\sin^2\varphi + \\
 &+ 3q_5\sin\varphi\cos\varphi)W_{x0} + (\sin\varphi + 2q_4\sin\varphi\cos\varphi - \\
 &- 2q_5\cos^2\varphi)W_{y0} - q_5\sin\varphi\operatorname{ctgi}W_{z0}]; \\
 fwh5 &= (1/\lambda r_{cp})[(2\sin\varphi + 3q_4\sin\varphi\cos\varphi - \\
 &- 3q_5\cos^2\varphi)W_{x0} - (\cos\varphi - 2q_4\sin^2\varphi + \\
 &+ 2q_5\sin\varphi\cos\varphi)W_{y0} + q_4\sin\varphi\operatorname{ctgi}W_{z0}]; \\
 fwh6 &= -(1/\lambda r_{cp})3(1 - q_4\cos\varphi - q_5\sin\varphi)W_{x0}.
 \end{aligned}$$

Уравнение (29) интегрируется по методу Рунге—Кутты с учетом дополнительного преобразования компоненты  $\delta q_3$  (см. формулы (24), (25)), при переходе на каждый следующий виток полета.

Ошибка прогноза местоположения КА в проекциях на оси орбитальной системы координат рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned}
 \delta x_0 &= r_{cp}(-dq_2\cos i + q_3 - 2q_4\sin\varphi + 2q_2\cos\varphi - q_6\varphi); \\
 \delta y_0 &= r_{cp}(q_4\cos\varphi + q_5\sin\varphi + (2/3)q_6); \\
 \delta z_0 &= r_{cp}(q_1\sin\varphi - dq_2\cos\varphi\sin i);
 \end{aligned}$$

$$dq_2 = q_2 - \int_0^t \omega_p dt.$$

Заметим, что введение параметра  $dq_2$  вместо компоненты  $q_2$  позволяет выделить влияние только аномального поля тяготения Земли.

Влияние высших гармоник либо диапазона гармоник определяется как разность возмущений от низших гармоник с соответствующими верхними границами "ngh" и "ng".

Представленная схема расчета влияния низших и диапазона гармоник реализована в виде соответствующей программы для ПЭВМ на языке PASCAL.

Итак, предложены интегральные оценки пригодности моделей гравитационного поля Земли для решения задач управления движением.

Разработан и представлен математический аппарат этих оценок на ЦВМ применительно к моделям ГПЗ, которые используют разложение потенциала гравитационного поля Земли в ряд по сферическим функциям вплоть до 36 порядка. Представленный математический аппарат легко

адаптируется к моделям ГПЗ более высокого порядка.

Случайные ошибки определения параметров модели ГПЗ определяют достоверность данных длительного прогноза. Сокращение порядка используемой модели ГПЗ при решении прикладных задач приводит к систематической ошибке прогноза движения, регламентация которой позволяет квалифицированно принять порядок используемой модели ГПЗ.

Программная реализация представленного математического аппарата и проведенные исследования на ЦВМ показали следующее.

1. Использование ПЗ-90 применительно к прогнозу движения КА системы ГЛОНАСС дает среднеквадратическое отклонение (СКО) порядка одного метра на виток прогноза вдоль орбиты, а для КА системы GPS  $\sim 3$  м; в нормальной плоскости СКО прогноза составляет  $\sim$  несколько миллиметров на виток для КА обеих систем. Применительно к КА с высотой орбиты 500 км указанные ошибки в среднем равны 8,0 и 0,45 м на виток прогноза соответственно.

2. Сокращение порядка используемой модели ГПЗ вдвое сопровождается систематической ошибкой на уровне двух случайных на орбите с высотой 500 км и на 8—9 порядков ниже на орбитах КА ГЛОНАСС и GPS. Заметим, что модель ГПЗ 36-го порядка содержит 1400 коэффициентов сферических функций, модель ГПЗ 18-го порядка содержит только 380 таких коэффициентов.

#### Библиографический список

1. **Параметры** общего земного эллипсоида и гравитационного поля Земли (Параметры Земли 1990 года). Военно-топографическое управление Генерального штаба, редакционно-издательский отдел. Москва, 1991. 68 с.
2. **ГЛОНАСС**. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова и В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010. 798 с.
3. **Баранов В.Н., Королевич В.В.** Пример оценки точности модели EGM 2008 по астрономо-геодезическим данным // Международный научно-технический и производственный электронный журнал "Науки о Земле". № 2. 2011. С. 39—43.
4. **Эльясберг П.Е.** Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1965. 540 с.

# Инженерный подход к реализации систем, оптимальных по быстродействию

**Е.К. Фаворский**

E-mail: egor.favorskiy@gmail.com



**ФАВОРСКИЙ**  
Егор Кириллович —  
руководитель отдела  
информационной  
безопасности  
ООО "ЮНИОН"

*Рассматривается оптимальное по быстродействию управление за меньшее количество интервалов знакопостоянства управления, чем порядок объекта. Определяются начальные условия, при которых методическая ошибка приведения за меньшее количество интервалов ограничена и зависит от корней характеристического полинома. Показано, что методическая ошибка, большая, чем найденные ограничения ошибки, соответствует узким усеченным конусам начальных условий.*

**Ключевые слова:** перевод состояния из точки в точку; управление, оптимальное по быстродействию; редуцирование; ошибка приведения.

**E.K. Favorskiy.** Engineering Approach to Realization of Systems-Optimal

*The optimal control for fewer intervals of constant sign of control than the order of the object are consider. Determined by the initial conditions under which the methodical error reduction for less than the number of slots is limited and depends on the roots of the characteristic polynomial. Shown that the methodological error is greater than the limit found error corresponds to a narrow segment of the initial conditions.*

**Key words:** state transition from one point to another; optimal response equation; reduction; reduction error.

**С**оздание систем, оптимальных по быстродействию, является актуальной проблемой. Время процесса управления — один из важнейших критериев при проектировании таких систем.

В 1970-х гг. была разработана математическая теория оптимальных по быстродействию систем. Но на пути их инженерной реализации появились трудности, связанные с учетом различных условий эксплуатации.

В литературе появился термин "квазиоптимальные" системы, в которых из-за сложности реализации применялись упрощенные алгоритмы управления. Зачастую время, оговоренное техническим заданием на отработку начальных условий при проектировании системы, достигалось не совершенствованием алгоритма управления, а увеличением мощностей управляющих устройств, а время управления, соответствующее математической теории, являлось критерием квазиоптимальности при сравнении результатов, полученных в проектируемой системе, с результатами математической теории.

Начало проектирования системы связано с определением исходной математической модели объекта управления и регулятора в части силовой реализации управляющего воздействия, динамика которого может повлиять на размерность модели.

близлежащих крайних левых корней на корневой плоскости.

Если методическая ошибка управления в два или три интервала велика и не соответствует техническому заданию, необходимо определить число интервалов  $m$ , при котором методическая ошибка приемлема.

Вычисленная методическая ошибка может явиться ориентиром о возможности уменьшения количества интервалов управления при малых начальных условиях. Если методическая ошибка соизмерима с начальными условиями (такое возможно при малых начальных условиях), то управление в  $m$  интервалов должно определяться конкретными расчетами. В этом случае времена интервалов малы и апериодические звенья работают как интеграторы.

Сопоставление ошибки, определенной из ограничений времени интервалов, и величин

начальных условий определяет приемлемость управлений за меньшее количество интервалов.

#### Библиографический список

1. **Болтянский В.Г.** Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. 408 с.
2. **Павлов А.А.** Синтез релейных систем, оптимальных по быстродействию. М.: Наука, 1966. 392 с.
3. **Смольников Л.П.** Синтез квазиоптимальных систем автоматического управления. Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1968. 168 с.
4. **Дунаев В.И.** Квазиоптимальные по быстродействию системы автоматического регулирования. М.: Энергия, 1970. 64 с.
5. **Каляев А.В.** Расчет переходного процесса в линейных системах путем понижения порядка дифференциального уравнения // Автоматика и телемеханика. 1959.
6. **Репников А.В.** Колебания в оптимальных системах автоматического регулирования. М.: Машиностроение, 1968.

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, Стрёмьинский пер., 4

Редакторы номера Л.А. Гильберг, О.Г. Красильникова

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

Сдано в набор 20.07.15. Подписано в печать 08.09.15. Формат 60 × 88/8. Усл. печ. л. 7,35. Бумага офсетная. Свободная цена.

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

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: [www.aov.ru](http://www.aov.ru)

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