



ВЕСТНИК 2

56
2022

НПО ИМЕНИ С.А.ЛАВОЧКИНА

Молучев 1/10 34. 81700

П Р И К А З

по НАРОДНОМУ КОМИССАРИАТУ ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

№ *121*...

г.Москва

1. Молучев
"1..." 1937 г.

В соответствии с решением СТО от 27/IV-37 г. за № 86/сс Химкинскую Мебельную Фабрику считать принятой и включить в число предприятий НКОН по Первому Главному Управлению.

Указанному предприятию присвоить № *301*

ЗАМ.НАРКОМА ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Молучев
(КАРЯНОВИЧ)

85 ЛЕТ
АКЦИОНЕРНОМУ
ОБЩЕСТВУ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ
ИМЕНИ С.А. ЛАВОЧКИНА»



Ла-250

МКР «БУРЯ»



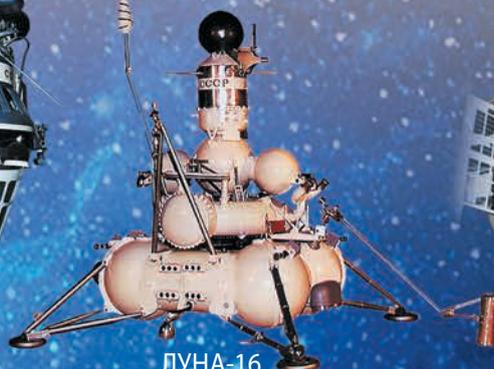
Ла-7



ЗУР В-300



ЛУНА-9



ЛУНА-16



ВЕНЕРА-7



ВЕГА



ЛУНОХОД



МАРС-3



СПЕКТР-РГ



РБ «ФРЕГАТ»

СПЕКТР-Р

ДОСТИЖЕНИЯ



Ла-7 – **ЛУЧШИЙ** советский истребитель в Великой Отечественной войне



Ла-176 – **ПРЕОДОЛЕНИЕ** «звукового» барьера при полёте со снижением, скорость 1105 км/ч, число М=1,02 (декабрь 1948)



ЗУР В-300 – **ПЕРВАЯ** зенитная управляемая ракета (1955)



ЛУНА-9 – **ПЕРВАЯ** мягкая посадка на Луну (1966)



Буря – **ПЕРВАЯ** межконтинентальная крылатая ракета (1957)



ЛУНА-10 – **ПЕРВЫЙ** искусственный спутник Луны (1966)



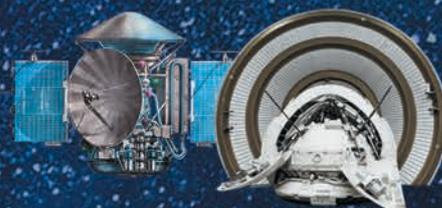
ЛУНА-16 – **ПЕРВАЯ** доставка лунного грунта на Землю в автоматическом режиме (1970)



ВЕНЕРА-7 – **ПЕРВАЯ** мягкая посадка на Венеру (1970)



ЛУНА-17 – **ПЕРВЫЙ** мобильный исследовательский комплекс ЛУНОХОД-1 на Луне, управляемый с Земли (1970)



МАРС-3 – **ПЕРВАЯ** мягкая посадка на Марс (1971)



ВЕНЕРА-9 – **ПЕРВЫЕ** панорамные снимки поверхности Венеры (1975)



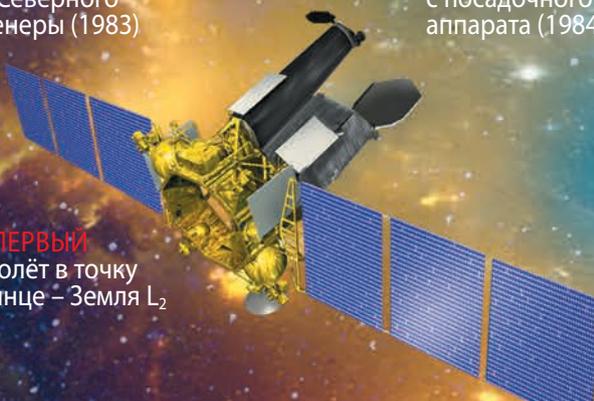
ВЕНЕРА-15 – **ПЕРВЫЕ** радиолокационные снимки поверхности Северного полушария Венеры (1983)



ВЕГА-1 – **СБЛИЖЕНИЕ** с кометой Галлея, передача на Землю её изображения, продолжение исследования Венеры с посадочного аппарата (1984)



СПЕКТР-Р – **САМЫЙ БОЛЬШОЙ** наземно-космический интерферометр с базой до 360 000 км и пространственным разрешением $3 \cdot 10^{-5}$ угл. секунд (2011)



СПЕКТР-РГ – **ПЕРВЫЙ** российский полёт в точку либрации Солнце – Земля L₂ (2019)

с о д е р ж а н и е

Поздравление генерального директора Госкорпорации «Роскосмос» Дмитрия Олеговича Рогозина коллективу НПО имени Семёна Алексеевича Лавочкина с 85-летием предприятия	3
Поздравление президента Российской академии наук академика РАН Александра Михайловича Сергеева с 85-летием Акционерного общества «НПО имени С.А. Лавочкина»	4
Поздравление генерального директора Акционерного общества «НПО имени С.А. Лавочкина» Владимира Афанасьевича Колмыкова коллективу предприятия с 85-летним юбилеем	5
Поздравление академика РАН Михаила Яковлевича Марова коллективу НПО имени Семёна Алексеевича Лавочкина с 85-летним юбилеем	6
Ширшаков А.Е., Ефанов В.В., Моисеев А.А., Шостак С.В. Уникальные проекты коллектива НПО имени С.А. Лавочкина (к 85-й годовщине предприятия)	8
Зелёный Л.М., Закутняя О.В. Звёзды зажигают в Химках	23
Сачков М.Е., Шустов Б.М., Сичевский С.Г., Моисеев А.А., Шостак С.В., Шаханов А.Е. Космическая астрофизическая обсерватория «СПЕКТР-УФ» – совместный проект Института астрономии РАН и АО «НПО Лавочкина»	39
Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Заславский Г.С., Лавренев С.М., Степаньянц В.А., Тучин А.Г., Тучин Д.А. Успешное творческое сотрудничество НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН в освоении космоса	46
Хартов В.В., Кудрявцев Ю.Е., Михайлов В.М., Можина Н.В., Прокопенко О.Е., Райкунов К.Г. Сотрудничество АО «ЦНИИмаш» и АО «НПО Лавочкина» при реализации проекта по исследованию Марса «ЭКЗОМАРС»	57
Кошлаков В.В. Сотрудничество НПО имени С.А. Лавочкина и Центра Келдыша – вчера, сегодня, завтра	65
Дишель В.Д., Елисеева М.А., Мулюкин А.М., Сапожников А.И., Симаков М.Л. Системы управления АО «НПЦАП» в проектах АО «НПО Лавочкина»	76
Добрынин Д.А., Ивонин А.Н., Соколов В.Н. Создание бортовых комплексов управления для космических аппаратов разработки НПО им. С.А. Лавочкина	82
Ногин Р.О., Кузин Е.Н., Загарских В.И., Ефанов В.В., Моисеев А.А. Краткая история научного сотрудничества ВА РВСН имени Петра Великого с АО «НПО Лавочкина»	89
Казаков Г.В., Котяшев Н.Н., Степанов М.Н. Опыт взаимодействия 4 ЦНИИ Минобороны России с АО «НПО Лавочкина»	97

журнал является рецензируемым изданием

- журнал включён в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещаемую на платформе НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ на сайте <http://www.elibrary.ru>
 - журнал включён в перечень российских рецензируемых научных журналов ВАК по группе научных специальностей 05.07.00 авиационная и ракетно-космическая техника
 - мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей
 - редакция не несёт ответственность за содержание рекламы
 - рукописи не возвращаются
 - при перепечатке материалов ссылка на «ВЕСТНИК «НПО ИМЕНИ С.А. ЛАВОЧКИНА» обязательна
 - плата с аспирантов и адъюнктов за публикацию статей не взимается
 - статьи журнала и требования к оформлению представленных авторами рукописей приведены на сайте журнала <http://www.vestnik.laspac.ru>
 - подписной индекс 37156 в каталоге «Периодические издания. Газеты и журналы» ООО ГК «УРАЛ-ПРЕСС»
- © АО «НПО ЛАВОЧКИНА» © авторы статей

ежеквартальный научно-технический журнал издаётся с 2009 года

адрес редакции: 141402 Московская обл., г. Химки, ул. Ленинградская, д. 24
телефоны: (495) 575 55 63, (495) 575 54 69
факс: (495) 572 00 68
адрес электронной почты: VESTNIK@LSPACE.RU
адрес в Интернете: <http://WWW.VESTNIK.LSPACE.RU>

главный редактор –

к.э.н.

Х.Ж. Карчаев

заместитель главного редактора –

д.т.н., профессор

В.В. Ефанов

редакционная коллегия

чл. СХ СССР, России **В.М. Давыдов**

д.т.н.

К.А. Занин

к.т.н.

А.А. Моисеев

д.т.н.

А.Е. Назаров

д.т.н., профессор

С.Н. Шевченко

к.т.н.

А.Е. Ширшаков

редакционный совет

председатель

к.т.н., профессор

В.А. Колмыков

академик РАН

О.М. Алифанов

д.ф.-м.н., профессор

В.В. Асмус

д.т.н., профессор

Б.И. Глазов

академик РАН

Л.М. Зелёный

чл.-корр. АНРТ

Х.И. Ибадинов

к.т.н.

Е.Н. Кузин

д.т.н., профессор

А.А. Любомудров

академик РАН

М.Я. Маров

д.т.н., профессор

Ю.А. Матвеев

академик

НАН Беларуси

О.Г. Пенязьков

академик РАН

Г.А. Попов

д.т.н.

В.С. Финченко

д.т.н., профессор

В.В. Хартов

д.т.н., профессор

Е.Н. Хохлачев

чл.-корр. РАН

Б.М. Шустов

**журнал является
рецензируемым изданием**

у ч р е д и т е л ь
АО «НПО ЛАВОЧКИНА»

журнал зарегистрирован
в Федеральной
службе по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций.
адрес учредителя и издателя
совпадает с адресом редакции.
свидетельство ПИ № ФС 77-72311
от 01 февраля 2018 г.

ISSN 2075-6941



9 772075 694224 02

chief editor –

c.sc. (ec.) **Kh.Zh. Karchayev**

deputy chief editor –

d.eng., professor **V.V. Efanov**

editorial board

member of

UA USSR, URA **V.M. Davydov**

d.eng. **K.A. Zanin**

c.sc. (eng.) **A.A. Moisheev**

d.eng. **A.E. Nazarov**

d.eng., professor **S.N. Shevchenko**

c.sc. (eng.) **A.E. Shirshakov**

editorial council

chairman –

c.sc. (eng.) **V.A. Kolmykov**

academician RAN **O.M. Alifanov**

doctor of physical and mathematical
sciences, professor **V.V. Asmus**

d.eng., professor **B.I. Glazov**

academician RAN **L.M. Zelenyi**

corresponding

member ANRT **H.I. Ibadinov**

c.sc. (eng.) **E.N. Kuzin**

d.eng., professor **A.A. Lyubomudrov**

academician RAN **M.Y. Marov**

d.eng., professor **Y.A. Matveev**

academician NASB **O.G. Penyazkov**

academician RAN **G.A. Popov**

d.eng. **V.S. Finchenko**

d.eng., professor **V.V. Khartov**

d.eng., professor **E.N. Khokhlachev**

corresponding

member RAN **B.M. Shustov**

the journal is a reviewed publication

founder «LAVOCHKIN ASSOCIATION»

the journal is registered
in Federal Service
for telecommunications and
mass media oversight.
address of the founder and
the publisher is the same as of
the editorial office.
certificate ПИ № ФС 77-72311
dated February 01, 2018

t a b l e o f c o n t e n t s

Congratulations of Dmitry O. Rogozin, the Director General of the State Space Corporation Roscosmos to the Lavochkin Association, JSC team on the 85 th Anniversary of the enterprise	3
Congratulations of Alexander M. Sergeev, the President of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences on the 85 th Anniversary of Lavochkin Association, JSC	4
Congratulations of Vladimir A. Kolmykov, Director General of the Lavochkin Association, JSC to the corporate team on the 85 th Anniversary of the enterprise	5
Congratulations of Mikhail Ya. Marov, Academician of the Russian Academy of Sciences on the 85 th Anniversary of Lavochkin Association, JSC	6
Shirshakov A.E., Efanov V.V., Moisheev A.A., Shostak C.V. Unique programs of Lavochkin Association's team (to the 85 th anniversary of the company)	8
Zelenyi L.M., Zakutnyaya O.V. Stars are lit in Khimki	23
Sachkov M.E., Shustov B.M., Sichevskij S.G., Moisheev A.A., Shostak S.V., Shakhnov A.E. SPEKTR-UF Space Astrophysical Observatory is a joint project of the Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences and Lavochkin Association, JSC	39
Borovin G.K., Golubev Yu.F., Grushevskii A.V., Zaslavskiy G.S., Lavrenov S.M., Stepanyants V.A., Tuchin A.G., Tuchin D.A. Fruitful cooperation in space exploration between Lavochkin Association, JSC and Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences	46
Khartov V.V., Kudryavtsev Yu.E., Mikhailov V.M., Mozhina N.V., Prokopenko O.E., Raykunov K.G. Cooperation between JSC TsNIImash and Lavochkin Association, JSC in the implementation of the ExoMars Mars exploration project	57
Koshlakov V.V. The concord of the Lavochkin Association, JSC and the Keldysh research Center – yesterday, today, tomorrow	65
Dishel V.D., Eliseeva M.A., Mulyukin A.M., Sapozhnikov A.I., Simakov M.L. Guidance, Navigation and Control (GNC) systems created by NPCAP JSC for the projects of Lavochkin Association, JSC	76
Dobrynin D.A., Ivonin A.N., Sokolov V.N. Development of on board control systems for the spacecraft built by Lavochkin Association, JSC	82
Nogin R.O., Kuzin E.N., Zagarskih V.I., Efanov V.V., Moisheev A.A. A brief history of scientific cooperation between the Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great and Lavochkin Association, JSC	89
Kazakov G.V., Kotyashev N.N., Stepanov M.N. Experience of interaction of the 4 th Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia with Lavochkin Association, JSC	97

the journal is a reviewed publication

- the journal is included into data base «Russian Index of Scientific Citation» (RISC) located at ELECTRONIC SCIENTIFIC LIBRARY, internet link <http://www.elibrary.ru>
 - the journal is in the list of editions, authorized by the SUPREME CERTIFICATION COMMITTEE OF THE RUSSIAN FEDERATION, in the group of the scientific categories 05.07.00 aviation and rocket-space technologies
 - the opinion of editorial staff not always coincide with authors' viewpoint
 - editorial staff is not responsible for the content of any advertisements
 - manuscripts are not returned
 - no part of this publication may be reprinted without reference to Space journal of «VESTNIK «NPO IMENI S.A. LAVOCHKINA»
 - post-graduates and adjuncts have not to pay for the publication of articles
 - magazine articles and features required of author manuscript design are available at Internet Site <http://www.vestnik.laspacespace.ru>
 - subscription index 37156 in catalogue «Periodicheskie Izdaniya. Gazeti i Jurnalii» 000 GK «URAL-PRESS»
- © «LAVOCHKIN ASSOCIATION» © article writers

scientific and technical quarterly journal published since 2009

editorial office address: 141402 Moscow region, Khimki,
Leningradskaya str., 24
phone: (495) 575 55 63, (495) 575 54 69
fax: (495) 572 00 68
e-mail: VESTNIK@LSPACE.RU
internet: <http://WWW.VESTNIK.LSPACE.RU>



ПОЗДРАВЛЕНИЕ
ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА
ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСКОСМОС»
ДМИТРИЯ ОЛЕГОВИЧА РОГОЗИНА
КОЛЛЕКТИВУ НПО
ИМЕНИ СЕМЁНА АЛЕКСЕЕВИЧА ЛАВОЧКИНА
С 85-ЛЕТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Уважаемые работники НПО Лавочкина, друзья!
Дорогие ветераны!

Сердечно поздравляю вас со знаменательной датой – 85-летием Научно-производственного объединения имени Семёна Алексеевича Лавочкина!

Больше восьми десятилетий непрерывного развития и творческого поиска позволили НПО Лавочкина стать современной, мощной и успешной космической компанией. Через десятилетия плодотворного труда вы пронесли славные традиции дружного, крепкого и уверенного в себе коллектива.

Деятельность НПО Лавочкина – это целая эпоха открытий. Во всех победах, будь то авиационных или ракетно-космических, огромную роль сыграли люди – настоящие мастера своего дела и неутомимые труженики.

Выражаю самые теплые слова благодарности в адрес ветеранов НПО Лавочкина. Именно вы заложили традиции и основы, которые сегодня позволяют предприятию находиться в лидерах беспилотной космонавтики. Именно вы покорили технические рубежи, о которых раньше человечество могло

только мечтать. Сочетание ума и мужества, соединенные с инженерной мыслью, позволили человеку преодолеть физические барьеры и вступить в эру космических полётов. Вашим трудом и знаниями писалась вся летопись предприятия: самолеты, ракетные системы, космическая техника. В каждом изделии есть частица вашего труда!

Дорогие друзья! Нашими предшественниками проделана огромная работа, одержаны великие победы. Мы должны стремиться стать достойными последователями, которые воплотят в жизнь новые мечты человечества и откроют новые горизонты!

Уверен, что коллектив НПО Лавочкина будет и впредь достойно решать поставленные задачи и вносить весомый вклад в укрепление ракетно-космического потенциала нашей великой Родины. Пусть дело, которому вы отдаете душевные силы, опыт и знания, приносит радость и желание новых профессиональных свершений.

Желаю НПО Лавочкина устойчивого развития и покорения новых космических вершин!

Генеральный директор
Госкорпорации «Роскосмос»
Д.О. РОГОЗИН



ПОЗДРАВЛЕНИЕ
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
АКАДЕМИКА РАН
АЛЕКСАНДРА МИХАЙЛОВИЧА СЕРГЕЕВА
С 85-ЛЕТИЕМ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
«НПО ИМЕНИ С.А. ЛАВОЧКИНА»

Дорогие друзья и коллеги, уважаемые ветераны!

У НПО Лавочкина интереснейшая и уникальная история.

Разработанные предприятием истребители во время Великой Отечественной войны сдерживали натиск немецких «мессершмиттов»; примером настоящей командной, высокопрофессиональной работы коллектива стали космические аппараты, осуществившие первую в мире мягкую посадку на поверхность Луны, а затем на поверхность Венеры и Марса; с помощью телескопа «СПЕКТР РГ» открыты миллионы новых объектов в космосе.

Преобразившись из серийного самолетостроительного завода в элитарное предприятие отечественного ракетно-космического комплекса, компания реализовывает ответственные государственные заказы в области разработки и эксплуатации космических аппаратов для научных исследований дальнего космоса и прикладных целей.

НПО Лавочкина всегда славилось светлыми умами и яркими научно-техническими достижениями. Усилиями нескольких поколений сложилась авторитетная конструкторская школа. Сегодня вы достойно продолжаете славные традиции

предшественников, представляя разработки и гениальные конструкторские идеи, значительно опережающие время, решаете комплексные задачи, которые имеют принципиальное значение для будущего России и всего человечества.

Мы с вами развиваем одну из самых высокотехнологичных отраслей экономики – космос. Замыслы и проекты наших учёных вот уже долгие десятилетия НПО Лавочкина воплощает в конкретные изделия – симбиоз приборов и агрегатов.

Уверен, что конструктивный диалог между нами будет и дальше способствовать укреплению научного и научно-технологического потенциала страны в космической сфере, расширению использования имеющихся научных и научно-технических результатов для создания опережающего задела и развития перспективных космических технологий.

Желаю вам масштабных творческих идей, успешных проектов и новых открытий! Пусть рядом с вами всегда будут единомышленники, готовые поддержать самые смелые и ответственные решения в деле освоения космоса. Пусть эта юбилейная дата вдохновит вас, дорогие друзья, на добрые дела во благо нашего Отечества!

Президент РАН
академик РАН
А.М. СЕРГЕЕВ



ПОЗДРАВЛЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НПО ИМЕНИ С.А. ЛАВОЧКИНА» ВЛАДИМИРА АФАНАСЬЕВИЧА КОЛМЫКОВА КОЛЛЕКТИВУ ПРЕДПРИЯТИЯ С 85-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ

85 лет творческой деятельности акционерного общества «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» – работы, наполненные постоянной борьбой за наилучшие научно-технические и технологические решения, за возможно кратчайшие сроки реализации, надёжность и качество изделий. Выпускаемая продукция в каждый исторический период была необходима стране, эти изделия и были мирового уровня.

Выполнение государственной важности задач было возможным благодаря мощному и уникальному научно-техническому и интеллектуальному потенциалу ныне широко известного в нашей стране и за рубежом объединения, сформированного выдающимися конструкторами авиационной, ракетно-космической техники чл.-корр. АН СССР С.А. Лавочкиным, его преемниками чл.-корр. АН СССР Г.Н. Бабакиным, чл.-корр. АН УССР, АН СССР, РАН В.М. Ковтуненко.

В предвоенные и военные годы – боевые поршневые самолёты, Ла-7 – лучший советский истребитель в Великую Отечественную войну. Первые послевоенные – ряд экспериментальных воздушно-реактивных машин, обеспечивших овладение технологиями стреловидных крыльев, сверхзвука. На Ла-176 впервые в стране преодолен звуковой барьер (достигнута скорость 1105 км/ч, соответствует числу $M=1,02$).

Затем в условиях холодной войны – зенитные управляемые ракеты и сверхоружие Возмездия – межконтинентальные крылатые ракеты «Буря». Для МКР специально у нас были освоены новые технологии, научные решения и впервые организована Лавочкиным широкая кооперация академических институтов, которую в некоторой степени можно сравнить с атомным проектом.

Достойный вклад внесён нашим предприятием в становление космической отрасли – Советский Союз стал лидером в освоении космического пространства, ближайших тел Солнечной системы и Вселенной научными автоматическими космическими аппаратами, лунными, межпланетными станциями и астрофизическими обсерваториями.

С 1965 года НПОЛ является головным в отрасли по созданию автоматических комплексов для фундаментальных научных космических исследований. В этот период, пожалуй, проявилась

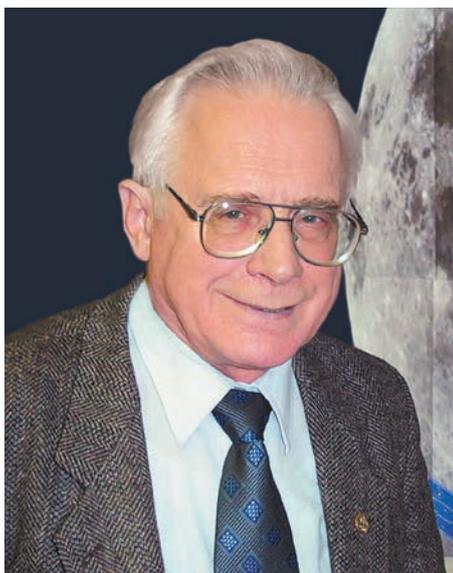
самая яркая черта научной проектно-конструкторской школы Лавочкина – смело браться за решение совершенно новых проблем, сплачивать вокруг себя лучшие научные и технические силы страны и добиваться в короткие сроки результатов мирового уровня. Созданные нами надёжные аппараты позволили отечественным учёным первыми получить уникальные результаты исследования, доставленных на Землю в автоматическом режиме образцов лунного грунта; приоритетные результаты анализа поверхности Венеры в месте посадки и химического состава её атмосферы; результаты изучения физико-химических свойств кометы Галлея, глобального картирования поверхности Венеры бортовым радиолокатором.

Созданные НПО имени С.А. Лавочкина орбитальные астрофизические обсерватории уникальны. «АСТРОН», «ГРАНАТ», «СПЕКТР-Р-РАДИОАСТРОН» позволили российским учёным совместно с зарубежными специалистами получить приоритетные результаты исследований астрономических объектов в различных областях спектра электромагнитных излучений. Сейчас успешно работает на орбите «СПЕКТР-РГ», создаётся «СПЕКТР-УФ». Наши спутники «ПРОГНОЗ», «Интербол» внесли весомый вклад в изучение солнечно-земных связей, магнитосферы Земли, а «ЭЛЕКТРО-Л», «АРКТИКА-М» обеспечивают инновационное социально-экономическое развитие России. Нами создан, пожалуй, лучший в своём классе межорбитальный буксир серии «Фрегат», которым осуществлено более 100 пусков и выведено на рабочие и отлётные орбиты почти 800 КА.

Главная ценность предприятий с большой историей (а мы по праву принадлежим к их числу) – не конкретные технические решения, накопленные за долгие годы работы, а учёные и специалисты, их опыт, умение находить новые оптимальные решения, их отношение к делу и родному предприятию. Такие специалисты у нас есть. Есть молодёжь, способная воспринимать методы и подходы, наработанные за всю богатую историю; есть проекты, выполнение которых требует объединения усилий ветеранов и молодёжи. А значит, есть у нас и хорошее будущее. Так что, 85-летие – это только веха, важная веха на нашем славном пути.

С праздником, дорогие коллеги!

Генеральный директор
В.А. КОЛМЫКОВ



ПОЗДРАВЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН МИХАИЛА ЯКОВЛЕВИЧА МАРОВА КОЛЛЕКТИВУ НПО ИМЕНИ СЕМЁНА АЛЕКСЕЕВИЧА ЛАВОЧКИНА С 85-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

Для меня большая честь обратиться к читателям журнала «Вестник НПО им. С.А. Лавочкина» со словами приветствия в связи с 85-летием со дня основания предприятия. Лавочкинцы, создатели легендарных самолётов ЛА, внесли весомый вклад в нашу победу над фашизмом во второй мировой войне. В послевоенные годы предприятие непосредственно участвовало совместно с НИИ-1 в работах по созданию ракетного комплекса «Бура», в котором воплотилось множество оригинальных научно-технических и инженерных решений, а летные испытания показали высокую эффективность и надежность этого оружия.

Историческим решением стал перевод в 1965 году предприятия на космическую тематику, где в полной мере оказались востребованными высочайшая квалификация и громадный опыт коллектива сотрудников. В принятии этого решения огромная заслуга принадлежит С.П. Королеву и М.В. Келдышу. Можно со всей определенностью сказать, что мудрость и прозорливость этих выдающихся космических лидеров во многом предопределили те выдающиеся успехи в изучении дальнего космоса, которыми мы сегодня по праву гордимся. И, конечно, эти успехи были обеспечены блестящей плеядой специалистов, всем коллективом НПО им. С.А. Лавочкина, во главе с его первым выдающимся руководителем, Главным конструктором Георгием Николаевичем

Бабакиным. Под его руководством было создано несколько поколений комических аппаратов для исследований Луны, Венеры и Марса. По своим техническим характеристикам и совершенству эти аппараты оказались во многом уникальными, опередившими свое время, и они внесли громадный вклад в изучение Солнечной системы.

Вехи славной истории предприятия, воплощенные в оригинальных конструкторских разработках и технических решениях, эффективно отражаются на протяжении многих лет на страницах журнала «Вестник НПО им. С.А. Лавочкина». Сделать научно-технические результаты исследований более доступными для зарубежного читателя помогает ежегодный выпуск дополнительного номера журнала «Астрономический вестник. Solar System Research», в котором публикуются наиболее значимые статьи из оригинальных номеров Вестника НПО.

Сегодня, оглядываясь назад, не перестаешь удивляться тому, сколь насыщенными были результаты и успехи, достигнутые предприятием за прошедшие 85 лет. Впереди большие планы, и хочется верить, что, опираясь на свой интеллектуальный потенциал, громадный опыт и славные традиции, учёные и специалисты НПО им. С.А. Лавочкина внесут новый достойный вклад в космические исследования и научно-технический прогресс человечества.

От души поздравляю с юбилейной датой!

Академик РАН
Главный редактор журнала
«Астрономический вестник.
Solar System Research»
М.Я. МАРОВ

Получено 1/11 37. 61700

П Р И К А З

по НАРОДНОМУ КОМИССАРИАТУ ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

№ *121*.....

г. Москва

"*1*" *Июль*..... 1937 г.

В соответствии с решением СТО от 27/IV-37 г. за № 86/сс Химкинскую Мебельную Фабрику считать принятой и включить в число предприятий НКОН по Первому Главному Управлению.

Указанному предприятию присвоить № *301*.....

ЗАМ. НАРКОМА ОБОРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М. Карлович
(КАРЛОВИЧ)

**УНИКАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ
КОЛЛЕКТИВА
НПО ИМЕНИ С.А. ЛАВОЧКИНА
(К 85-ЛЕТИЮ ПРЕДПРИЯТИЯ)**

**UNIQUE PROGRAMS OF LAVOCHKIN
ASSOCIATION'S TEAM
(TO THE 85TH ANNIVERSARY
OF THE COMPANY)**



А.Е. Ширшаков¹,
кандидат
технических наук,
shirshakov@laspace.ru;
A.E. Shirshakov



В.В. Ефанов¹,
доктор
технических наук,
Vladimir_efanov@
laspace.ru;
V.V. Efanov



А.А. Моисеев¹,
кандидат
технических наук,
moisheeva@laspace.ru;
A.A. Moiseev



С.В. Шостаков¹,
кандидат
технических наук,
shostak@laspace.ru;
S.V. Shostak

В статье содержится ретроспективный обзор работ, проведённых коллективом НПО им. С.А. Лавочкина, начиная с 30-х годов прошлого века и по настоящее время, а также описание перспективных проектов.

Ключевые слова: самолёты-истребители «Ла»; ЗРК «С-25»; МКР «Буря»; космические аппараты серий «ЛУНА», «ВЕНЕРА», «МАРС»; астрофизические обсерватории «АСТРОН», «ГРАНАТ», «СПЕКТР»; гидрометеорологические аппараты «АРКТИКА» и «ЭЛЕКТРО-Л».

The article contains a retrospective overview of the activities carried out by the Lavochkin Association's team from the 30s of the last century to the present, as well as a description of the forthcoming projects.

Key words: «LA» fighters; S-25 air defense system; Burya intercontinental cruise missile; family satellites LUNA, VENERA, MARS; astrophysics observatories ASTRON, GRANAT, SPEKTR; meteo satellite ARKTIKA and ELEKTRO-L.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.001



¹ АО «НПО Лавочкина», Россия, Московская область, г. Химки.

Lavochkin Association, Russia, Moscow region, Khimki.

Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина – уникальное явление среди других предприятий Госкорпорации «Роскосмос». Пожалуй, нигде больше нет столь разноплановой программы разработки и производства автоматических космических комплексов для научных исследований объектов ближнего и дальнего космоса. Каждый новый проект АО «НПО Лавочкина» – это материализация передовых идей и оригинальных решений, рожденных в результате творческого сотрудничества институтов Академии наук России и различных промышленных организаций, объединенных одной конечной целью. Не случайно поэтому юбилей коллектива АО «НПО Лавочкина» – знаковое событие не только для лавочкинцев, но и для всей космической отрасли страны.



рисунок 1. Истребитель ЛаГГ-3



рисунок 2. Истребитель Ла-5ФН



рисунок 3. Истребитель Ла-7

1. Начало

В середине 30-х годов прошлого столетия все большее значение приобретает авиация как один из основных видов вооруженных сил страны. Правительством принимается ряд постановлений, стимулирующих развитие связанных с авиацией отраслей науки, техники и промышленного производства. Вместе с тем велось лицензионное приобретение наиболее совершенных зарубежных образцов для дальнейшего использования их при организации серийного производства на отечественных предприятиях. Приказом № 0121 Наркомоборонпрома СССР от 01.06.1937 мебельная фабрика Наркомлеса в подмосковных Химках стала оборонным предприятием – авиационным заводом № 301 для изготовления французских самолётов фирмы «Рено – Кодрон». Первым директором завода был назначен Эскин Юлий Борисович.

Во второй половине 1930-х годов милитаризация экономики фашистской Германии, усиление территориальных притязаний Японии на Дальнем Востоке свидетельствовали о том, что война не за горами. Все более актуальной становилась задача скорейшего технического перевооружения Красной Армии, поставка в войска новых образцов военной техники, не уступающей лучшим зарубежным аналогам.

Правительство страны обратилось к самолётостроителям с призывом сосредоточить усилия на поиске новых конструкторских решений, позволяющих существенно улучшить тактико-технические характеристики боевых самолётов и оперативно запустить лучшие образцы в серийное производство. Семён Алексеевич Лавочкин в содружестве с Владимиром Петровичем Горбуновым и Михаилом Ивановичем Гудковым разработали проект скоростного истребителя активного воздушного боя для поражения и уничтожения самолётов противника мощным огнём в сочетании с большой скоростью полёта и высокой маневренностью.

Проект был одобрен, и 29 июля 1939 года было образовано Опытно-конструкторское бюро (ОКБ) для проектирования и изготовления двух опытных образцов скоростного цельнодеревянного истребителя. (*Космический полёт НПО им. С.А. Лавочкина*, 2010) Для изготовления самолёта был определён Химкинский авиационный завод № 301.

Проект истребителя И-301, названный позже ЛаГГ-1, был создан небольшим коллективом (около сотни человек) меньше чем за год. Как только проект получил официальное признание, коллегия Наркомата авиационной промышленности назначила Семёна Алексеевича Лавочкина ответственным конструктором проекта. (*Космический полёт НПО им. С.А. Лавочкина*, 2010). Так появились истребители серии «ЛаГГ» (Лавочкин – Горбунов – Гудков).

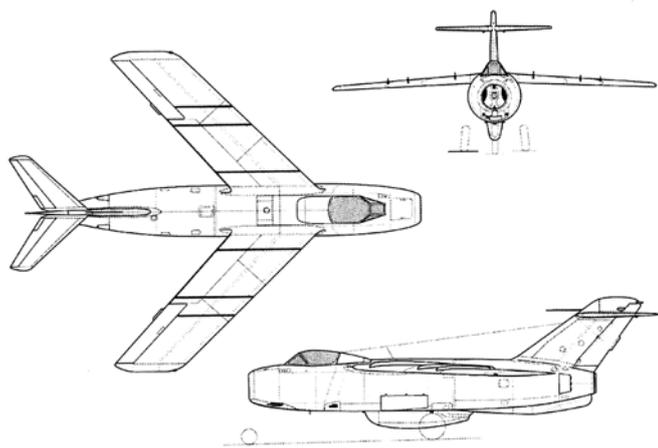


рисунок 4. Истребитель Ла-176

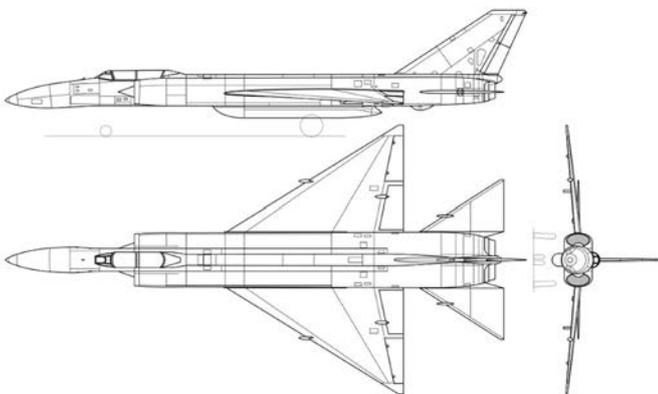


рисунок 5. Барражирующий истребитель-перехватчик Ла-250

В марте 1940 года ЛаГГ-1 совершил первый полёт, а доработанный самолёт под именем ЛаГГ-3 (рисунок 1) в конце 1940 года был запущен в серийное производство. Серийный ЛаГГ-3 имел отличное вооружение. В 1942-1943 годах самолёты, вооружённые 37-миллиметровыми пушками конструкции А.Э. Нудельмана и Б.Г. Шпитального, часто применялись в качестве штурмовиков.

В преддверии войны С.А. Лавочкин был направлен в город Горький на завод им. Орджоникидзе № 21 для организации серийного производства ЛаГГ-3. Понимая, что возможности боевого истребителя необходимо наращивать, Лавочкин сумел заменить двигатель М-105 на более мощный двигатель воздушного охлаждения (М-82), применявшийся до этого только на бомбардировщиках. В сентябре 1942 года новый истребитель, получивший название Ла-5, впервые и весьма эффективно участвовал в сражениях за Сталинград, а его последующая модификация Ла-5ФН (рисунок 2) достиг превосходства над фашистскими истребителями «Мессершмитт-109» и «Фокке-Вульф-190» в боях на курском направлении.

Доработав аэродинамику истребителя, уменьшив его массу за счёт применения в конструкции алюминиевых сплавов и резко увеличив скороподъёмность, удалось создать самолёт Ла-7 (рисунок 3), признанный лучшим советским истребителем времен войны.

По фактам боевого применения и отзывам лётного состава, истребитель Ла-7 не имел себе равных в боях до высоты 5000 метров.

2. Переход к реактивной технике

С окончанием войны наступила эпоха реактивной авиации. Стало очевидным, что пришло время больших скоростей. Теоретические изыскания в области аэродинамики больших скоростей привели к необходимости создания стреловидного крыла. ОКБ-301 совместно с ЦАГИ спроектировало, изготовило и испытало в 1947 году первый отечественный истребитель со стреловидным крылом Ла-160.

В декабре 1948 года реактивный самолёт Ла-176 (рисунок 4) с крылом стреловидностью 45° первым в стране преодолел звуковой барьер в полёте со снижением (Якубович Н.В., 2002; Ефанов В.В., Мартынов М.В., Karchaev Kh.Zh., 2018).

Следующим этапом работы ОКБ стало создание в 1956 году высотного истребителя-перехватчика Ла-250 «Анаконда» (рисунок 5).

Самолёт должен был оснащаться управляемыми ракетами для перехвата на удалении до 500 км от аэродрома базирования целей, летящих на высотах до 20000 м со скоростью 1250 км/ч. С.А. Лавочкин взял на себя непростую задачу – создание не только перехватчика, но и управляемой по радиоканалу ракеты. Многие в проекте было впервые: от аэродинамических компоновок, конструктивно-технологических решений, систем управления, силовых установок до радиолокационного прицела. Впервые на перехватчике кроме летчика размещался второй член экипажа – оператор.

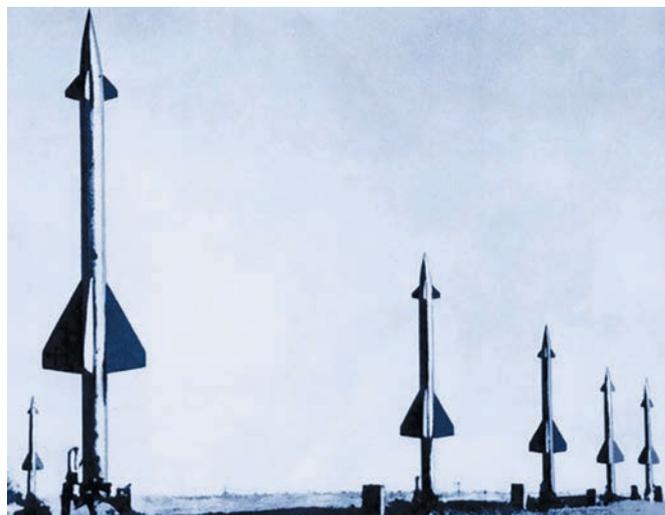


рисунок 6. Зенитная ракета В-300 ЗРК «С-25»

Испытания реактивных первенцев позволили получить неоценимый опыт по проектированию и отработке отечественной реактивной авиации. К этому времени в ОКБ-301 сформировалась конструкторская школа С.А. Лавочкина, способная решать сложные научно-технические задачи совместно с учёными Академии наук, с ведущими НИИ авиационной промышленности – ЦАГИ, ЛИИ, ЦИАМ, ВИАМ и др.

В 50-х годах в мировой практике авиационной промышленности получили развитие лабораторно-стендовые испытания. Семён Алексеевич Лавочкин первым из советских авиаконструкторов решил дополнить свое КБ экспериментальной базой, которая позволяла перенести центр тяжести испытательной работы с воздуха на землю и доводить сложные самолетные системы на испытательных стендах. А лётные испытания должны были только подтвердить то, что отработано в лаборатории.

Электронно-вычислительные машины в тот же период только начинали входить в жизнь. С.А. Лавочкин обратился за помощью к академику С.А. Лебедеву, под руководством которого в нашей стране создавалась первая цифровая вычислительная машина (МЭСМ). Вскоре специальный стенд для отработки самолета Ла-250 был создан в ОКБ. Летчик-испытатель М.Л. Галлай, вспоминая о том времени, рассказывал: «Сидя в кабине стенда можно было действовать рычагами управления, а на экране осциллографов наблюдать за ответными действиями самолета. За несколько минут работ на этом стенде мы с Шияновым в дым разбили «Анаконду» не меньше чем по 10 раз каждый».

3. Ракетный щит страны

В середине прошлого века ОКБ и завод № 301 становятся в ряд основных предприятий военно-промышленного комплекса СССР, им поручается создание новых средств защиты от воздушного нападения и новых видов стратегического сдерживания.

В сентябре 1950 года наше предприятие постановлением правительства было назначено разработ-

чиком зенитной управляемой ракеты системы ПВО «С-25» города Москвы. Это была первая в стране система противовоздушной обороны, базирующаяся на применении стационарных зенитных комплексов на основе секторных радиолокаторов, размещённых вокруг защищаемого объекта.

Перед коллективом ОКБ стояла задача разработки зенитных управляемых ракет класса «земля-воздух» (В-300 и В-500) и управляемых ракет класса «воздух-воздух». В этот период, по решению правительства, для участия в создании ракет в коллектив ОКБ-301 было направлено 50 опытных специалистов из НИИ-88. Возглавлял группу Г.Н. Бабакин. Ракета В-300 (заводской индекс «205») была создана немногим более чем за год. В начале 1955 года система ПВО «С-25» была принята на вооружение (рисунок 6). В дальнейшем ЗУР В-300 несколько раз модернизировалась в части совершенствования двигательной установки и увеличения поражающей способности.

В процессе создания и дальнейшей модификации ракеты был проделан большой объем работ по обеспечению длительного хранения ракет в заправленном состоянии, включая средства защиты от агрессивных компонентов топлива. Эти конструкторские наработки были в дальнейшем использованы в других ракетных системах ОКБ.

В 1955 году правительственным постановлением ОКБ-301 стало головной организацией по системе ПВО «Даль» с задачей поражения летательных аппаратов противника на дальних подступах к охраняемой зоне. В том же году коллектив ОКБ приступил к проектированию зенитной управляемой ракеты для системы ПВО «Даль» (заводской индекс ракеты – «400»). В 1958 году первые ЗУР «400» вышли на заводские летные испытания. Работы велись в напряженном ритме, основные проблемы были связаны с отладкой взаимодействия радиолокатора и электронно-вычислительной машины. Всего было произведено 77 пусков, однако до принятия на вооружение тема «Даль» была закрыта.

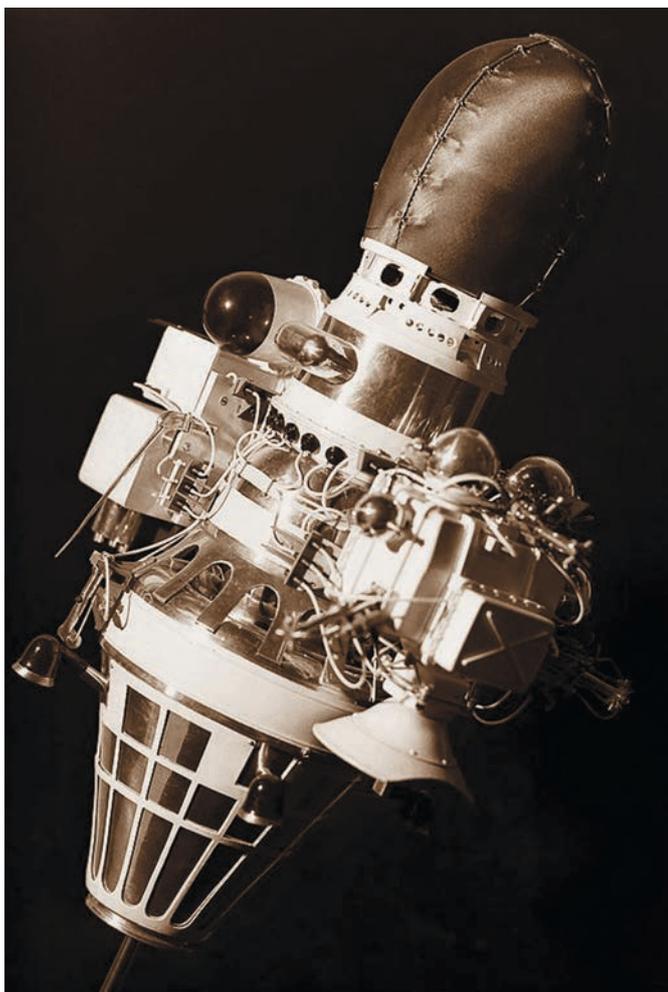
4. Прорывные технологии

В конце 40-х годов перед советскими конструкторами встал вопрос доставки ядерных боезарядов на большую дальность. Существующие и перспективные баллистические ракеты имели в то время недостаточную дальность полета для поражения целей на территории вероятного противника, а самолеты для выполнения боевой задачи должны были преодолевать мощную систему ПВО противника.

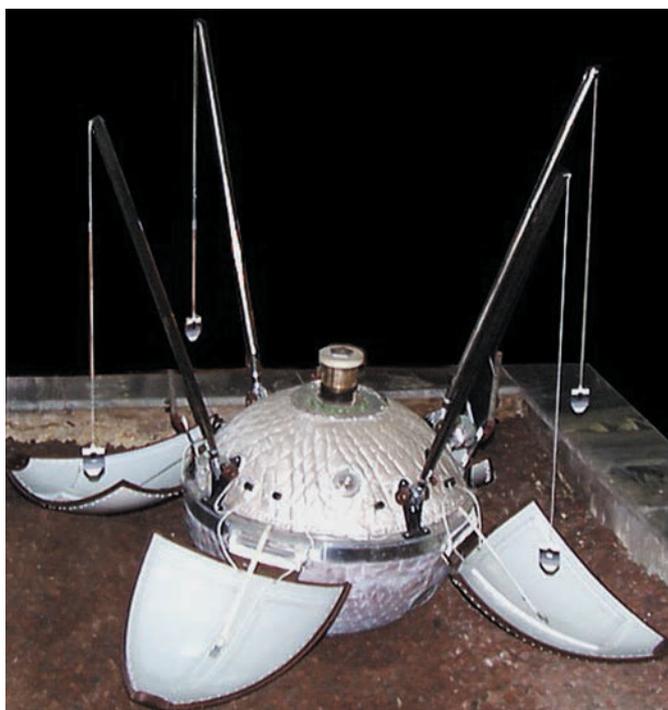
Постановлением правительства 20 мая 1954 года ОКБ-301 С.А. Лавочкина поручалась разработка межконтинентальной ракеты (МКР) для доставки ядерной боевой части, получившей название «Буря» (рисунок 7).



рисунок 7. МКР «Буря»



а



б

рисунок 8. Космическая станция (а) и посадочный аппарат «ЛУНА-9» (б)

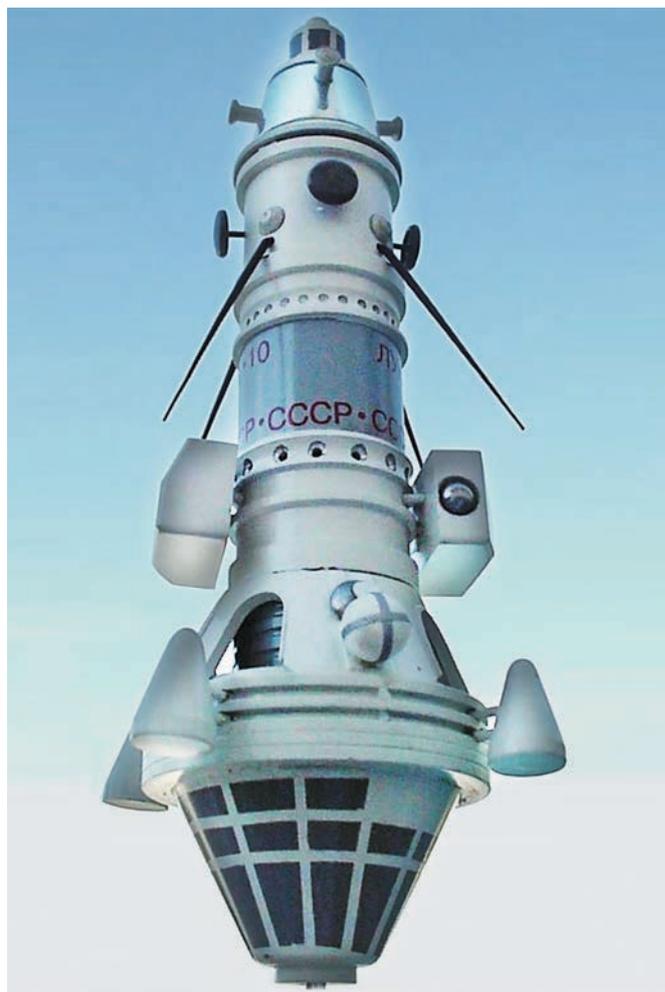


рисунок 9. КА «ЛУНА-10»

Заданная скорость полёта МКР была 3400 км/час, дальность – 8000 км. Руководил работами по проекту «Буря» Н.С. Черняков, ставший в 1957 году главным конструктором по этой теме. Проведённые 18 испытательных запусков МКР «Буря» доказали возможность достижения характеристик, заданных в техническом задании, и способность обеспечить расчётную дальность действия.

Работа в области ракетостроения стала мощным импульсом для развития самого предприятия. Были созданы новые подразделения с углублённой спецификой, развивались испытательная и производственная базы. При создании ракеты был проведён большой объём исследований, были разработаны новые технологии и развито несколько важных направлений. Специально для МКР «Бури» впервые была создана астронавигационная система, освоено производство элементов конструкции из титановых сплавов, разработан сверхзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель, для расчётов начали применяться электронные цифровые вычислительные машины (*Космический полёт НПО им. С.А. Лавочкина*, 2010).

К сожалению, «Буря», задуманная как прорывной проект, попросту не выдержала конкуренции с меж-

континентальными баллистическими ракетами, появившимися в СССР в конце 50-х годов, вследствие чего, несмотря на ряд успешных испытательных полетов, проект был закрыт.

5. В космос!

С 1965 года НПО им. С.А. Лавочкина переключается на космическую тематику, которая была передана вместе с заделом из ОКБ-1, возглавляемого С.П. Королёвым.

НПОЛ становится головным предприятием по созданию автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований. В последующие десятилетия коллективом созданы десятки аппаратов для исследования околоземного пространства, Луны и планет Солнечной системы. Такому решению способствовала уже известная в тот период научно-проектная школа Семёна Алексеевича Лавочкина, создавшая широкий круг уникальных летательных аппаратов.

6. Исследования Луны

К лунной тематике коллектив НПОЛ подключился в критический период времени, когда ни советские, ни американские аппараты не смогли доставить на поверхность спутника Земли научную аппаратуру в работоспособном состоянии. Ни одна из ранее предпринятых попыток обеспечить мягкую посадку аппарата на поверхность Луны не увенчалась успехом.

В такой обстановке НПОЛ получает из рук С.П. Королёва эстафету по созданию автоматических КА для полётов к Луне и планетам Солнечной системы.

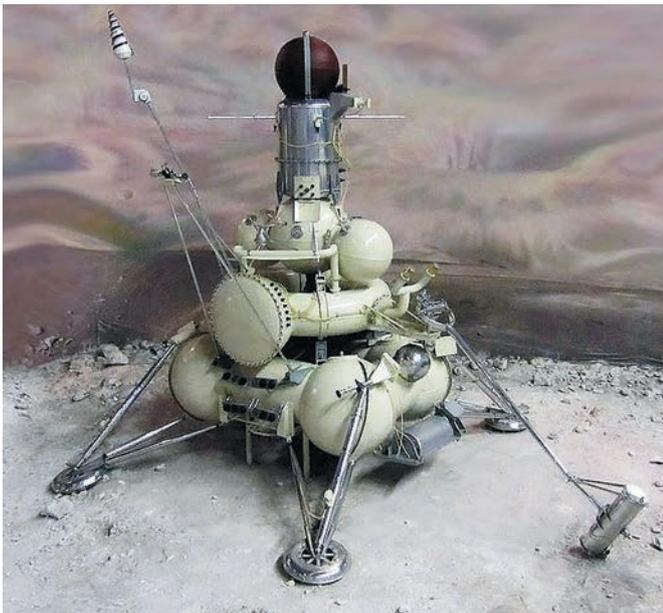


рисунок 10. КА «ЛУНА-16»

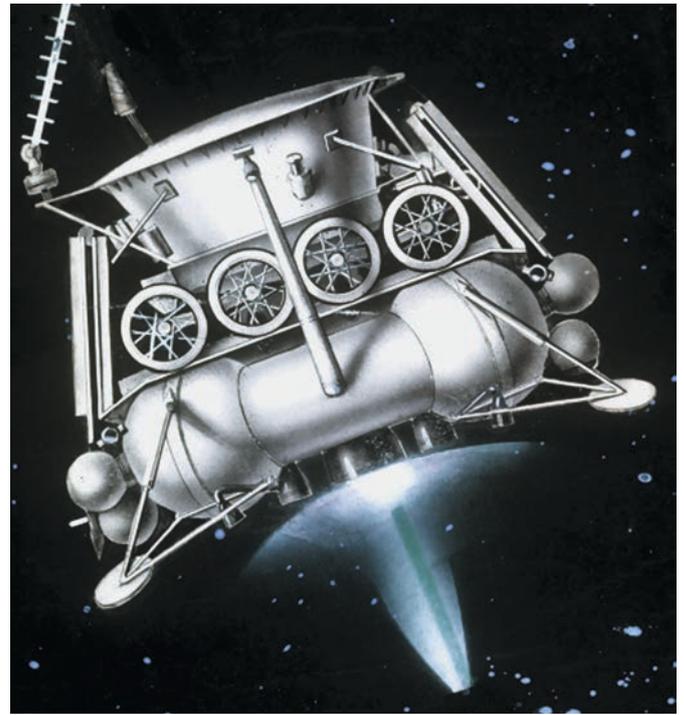


рисунок 11. КА «ЛУНА-17»

Первым лунным аппаратом, впервые в мире совершившим посадку на естественный спутник Земли, стал КА «ЛУНА-9», подготовленный к запуску «лавочкинцами». В основном космический аппарат был изготовлен с учётом задела ОКБ-1, но в НПО С.А. Лавочкина КА «ЛУНА-9» был усовершенствован, особенно в части посадочного устройства, и прошёл дополнительные наземные испытания (Ефанов В.В., Долгополов В.П., 2016; Efanov V.V., Martynov M.V., Karchaev Kh.Zh., 2018). На рисунке 8 представлен общий вид космической станции и посадочного аппарата «ЛУНА-9».

Запуск КА «ЛУНА-9» произошёл в 1966 году, в том же году в НПО им. С.А. Лавочкина была доработана документация и обеспечен успешный запуск аппарата «ЛУНА-10» – первого искусственного спутника Луны (рисунок 9), а также ещё трёх космических аппаратов к Луне: два искусственных спутника («ЛУНА-11, -12») и один посадочный аппарат «ЛУНА-13» (Автоматические космические аппараты..., 2010).

Это был настоящий прорыв в мировой космонавтике! В результате проведенных работ по программе исследования Луны мировое научное сообщество получило уникальную информацию, открывающую дорогу к началу масштабного исследования Луны и планет Солнечной системы, а коллективом НПО им. С.А. Лавочкина совместно с научной кооперацией были реализованы уникальные научные задачи:

- отработана технология и осуществлена первая мягкая посадка на поверхность Луны;
- получена круговая панорама поверхности Луны;



рисунок 12. КА «ЛУНА-25»

- получены достоверные сведения о микрорельефе, структуре и механических свойствах лунного грунта;
- решена баллистическая задача выведения КА на орбиту ИСЛ и обеспечения посадки на поверхность планеты;
- на орбите ИСЛ проведены исследования интенсивности и спектрального состава гамма- и ИК-излучения лунной поверхности, радиационной обстановки и метеорных частиц;
- с орбиты ИСЛ исследованы характеристики гравитационного поля Луны (по эволюции орбиты КА);
- измерено содержание естественных радиоактивных элементов – калия, урана, тория – в лунной коре;
- построена карта магнитного поля, напряжённость которого составила 0,001% от земного, и обнаружено, что у Луны, в отличие от Земли, нет радиационных поясов.

Подразделения НПОЛ работали в то время как единый коллектив, помогая друг другу в решении сложных задач: от закладки идеи в проектную документацию с последующим циклом создания изделий до подготовки к пуску на космодроме. Каждый проект был уникален по проектным и конструкторско-технологическим решениям. И в то же время производственная и испытательная базы пополнялись новым оборудованием, новыми уникальными технологиями, формируя новые возможности творческого коллектива для реализации последующих, еще более дерзких, проектов.

В 1967 году Г.Н. Бабакин предложил перейти на ракету-носитель тяжёлого класса «Протон» с разгонным блоком «Д». Это позволило создать уникальные для того времени автоматические космические аппараты следующего поколения, обладающие значительно большими возможностями. Это были космические аппараты «ЛУНА-16» (рисунок 10) и «ЛУНА-17» (рисунок 11) (*Автоматические космические аппараты...*, 2010; *Khartov V.V., Zelenyi L.M., Dolgopolov V.P., Efanov V.V. et al.*, 2011).

В 1970 году космическая станция «ЛУНА-16» впервые в мире в автоматическом режиме осуществила забор образцов лунного грунта, обеспечив доставку его на Землю. В конце того же года был осуществлён запуск космического аппарата «ЛУНА-17» с «ЛУНОХОДОМ-1» на борту – первой в мире мобильной лаборатории, работающей на другом небесном теле в автоматическом режиме и управляемой с Земли.

В период с 1970 по 1976 годы по программе исследования Луны было проведено семь удачных научных миссий: трижды забор и доставка на Землю лунного грунта, обеспечение работы на поверхности Луны мобильных лабораторий «ЛУНОХОД-1» и «ЛУНОХОД-2», а также получение научной информации с двух искусственных спутников Луны.

Сегодня в НПО им. С.А. Лавочкина создаётся новая серия лунных автоматических КА. По мнению Российской академии наук, основным районом изучения должен стать Южный полюс Луны, который будет исследоваться дистанционными и контактными методами, вплоть до доставки на Землю образцов

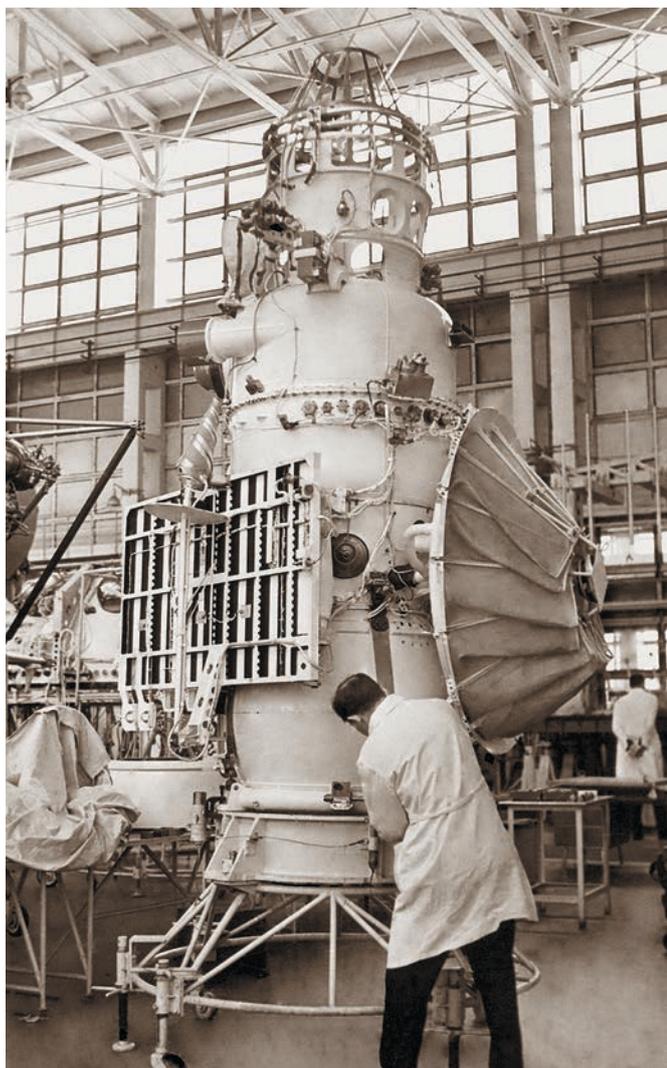


рисунок 13. КА «ВЕНЕРА-7» в сборочном цехе НПО им. С.А. Лавочкина

реголита и лунного реликтового водяного льда с сохранением летучих веществ в исходном состоянии (Khartov V.V. et al., 2011). Планируемые миссии будут проводить уникальные эксперименты в не исследованных ранее районах Южного полюса.

Первым новым «лунником» будет аппарат «ЛУНА-25» (рисунок 12), который в 2022 году должен доставить на поверхность небесного тела научную аппаратуру для комплексных исследований в околополярной области, отработать технологию мягкой посадки и обеспечить лётную квалификацию отдельных ключевых служебных систем и устройств (Казмерчук П.В. и др., 2016).

Основные научные задачи миссии:

- отработка технологии мягкой посадки на поверхность Луны в околополярной области;
- изучение внутреннего строения планеты и разведка природных ресурсов;
- исследование воздействия на поверхность естественного спутника Земли космических лучей и электромагнитных излучений.



рисунок 14. КА «ВЕНЕРА-9»

Затем намечен полёт КА «ЛУНА-26» для проведения комплекса дистанционных научных исследований Луны с орбиты её искусственного спутника.

В последующий период планируется запуск КА «ЛУНА-27». Он доставит на поверхность Луны автоматизированную физико-химическую лабораторию для проведения широкого спектра контактных исследований грунта в районе Южного полюса (Ефанов В.В., Долгополов В.П., 2016; Khartov V.V., Zelenyi L.M., Dolgoplov V.P., Efanov V.V. et al., 2011).

7. Исследования планет Солнечной системы

Помимо изучения Луны, в работах ОКБ значительное внимание уделялось и уделяется проектам по исследованиям Марса и Венеры.

В качестве базового аппарата для исследования Венеры был принят КА, созданный в ОКБ-1 под руководством С.П. Королёва. Начало программы НПО им. С.А. Лавочкина по исследованию Венеры было драматичным. В связи с отсутствием достоверной модели атмосферы Венеры спускаемый аппарат (СА) космического аппарата «ВЕНЕРА-4» не сумел достичь поверхности планеты. На высоте 22 км от поверхности были зафиксированы температура 270°C и давление 18 атмосфер, значительно превышающие расчетные значения, что привело к его разрушению.

Дальнейшие исследования космическими аппаратами «ВЕНЕРА-5 и -6» позволили уточнить климатические условия у поверхности планеты и обеспечить проведение необходимых доработок спускаемых аппаратов.

В 1970 году космический аппарат «ВЕНЕРА-7» (рисунок 13) совершил впервые в мире мягкую посадку на поверхность планеты и в течение 22 минут 57 секунд передавал научные данные. В результате установлено, что в месте посадки температура у по-

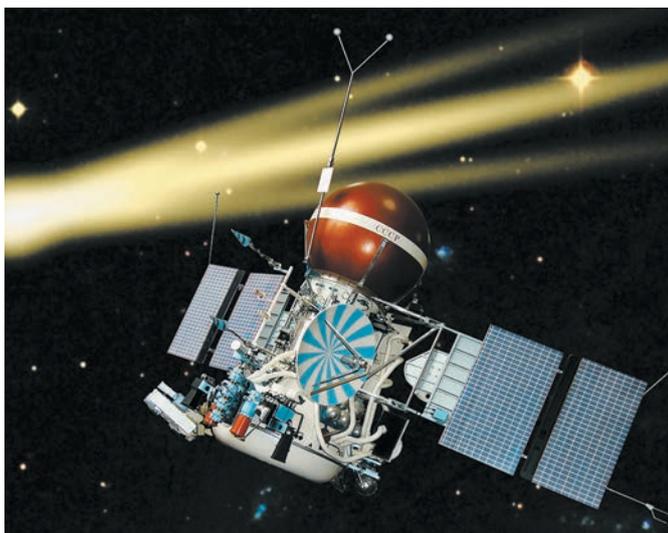


рисунок 15. КА «ВЕГА-1»

верхности планеты составляет 475°C , а давление – $91,1$ атмосферы.

В 1972 году СА «ВЕНЕРА-8» подтвердил ранее полученную информацию. Таким образом, с помощью КА «ВЕНЕРА-4, -5, -6, -7, -8» удалось успешно завершить первый этап исследования планеты и приступить к выполнению более сложной научной программы.

Следующее поколение КА этой серии открывается аппаратом «ВЕНЕРА-9» (рисунок 14), запущенным в 1975 году.

Основными задачами этой космической экспедиции являлись:

- передача на Землю через орбитальный аппарат (ОА) результатов измерений основных физико-химических параметров, полученных в процессе спуска в атмосфере (давление, температура, плотность, освещённость, химический состав), результатов исследования облачного слоя;
- осуществление мягкой посадки на поверхность планеты;
- передача фототелеметрических изображений поверхности в месте посадки и результатов измерения характеристик грунта.

Информация (телевизионное изображение панорамы поверхности и данные с научной аппаратуры и бортовых приборов) с СА «ВЕНЕРЫ-9», а потом и «ВЕНЕРЫ-10» передавалась на Землю около 1 часа. Орбитальные аппараты «ВЕНЕРА-9 и -10» стали первыми искусственными спутниками Венеры и использовались в качестве ретрансляторов для передачи информации со спускаемых аппаратов на Землю. Запущенные впоследствии КА «ВЕНЕРА-11, -12, -14, -15» дополнили ранее полученные данные об атмосфере планеты и условиях у её поверхности. Автоматические станции «ВЕНЕРА-15, -16» за 8 месяцев работы на орбите искусственных спутников Венеры

провели картографирование Северного полушария Венеры и передали информацию на Землю для построения высотного профиля поверхности планеты (Efanov V.V., Martynov M.B., Karchaev Kh.Zh., 2018).

Самую насыщенную научную программу выполнили космические межпланетные станции «ВЕГА-1» и «ВЕГА-2», стартовавшие в декабре 1984 года (рисунок 15).

Международный проект «Венера – комета Галлея» («ВЕГА») – один из самых сложных проектов исследования Солнечной системы при помощи космических аппаратов на тот исторический период. На Венеру были отправлены десантный аппарат и исследовательский зонд, а после проведения баллистического манёвра КА направлен к другому телу Солнечной системы – к комете Галлея (Baïсберг О.Л., 2016; Efanov V.V., Martynov M.B., Karchaev Kh.Zh., 2018).

В рамках программы «ВЕГА» выполнены крупные научные проекты:

- продолжение изучения атмосферы, облачного слоя и поверхности Венеры с помощью спускаемых аппаратов;
- проведение принципиально новых экспериментов по изучению циркуляции атмосферы планеты и её метеорологических параметров с помощью аэростатных зондов;
- поисковое сближение пролётных аппаратов с кометой Галлея с пролетом сквозь кому кометы на минимальном удалении от её ядра;
- проведение комплексного исследования кометы с пролётной траектории (в том числе получение телевизионных изображений её ядра).

В 2021 году Роскосмос заключил контракт с НПО им. Лавочкина на разработку технического предложения на космический комплекс «ВЕНЕРА-Д» (Засова Л.В. и др., 2018). Работы предполагается выполнить до 28 февраля 2023 года. К этому времени должно быть проведено обоснование реализуемости

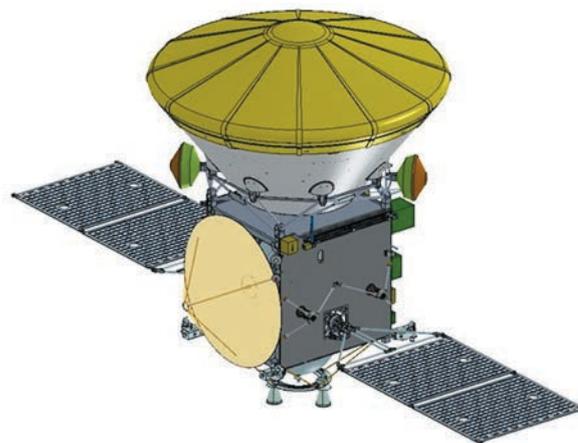


рисунок 16. КА «ВЕНЕРА-Д»

миссии и возможных проектно-конструкторских решений, обеспечивающих исследование атмосферы, поверхности, внутреннего строения и окружающей плазмы Венеры на современном уровне, исследование возможности возврата на Землю образцов грунта, атмосферы и аэрозолей Венеры, а также необходимо разработать проект технического задания на космический комплекс для исследования Венеры – «ВЕНЕРА-Д». Запуск космического аппарата должен быть осуществлен после 2029 года с помощью РН «Ангара-А5» с разгонным блоком ДМ-03 с космодрома «Восточный». Общий вид КА «ВЕНЕРА-Д» показан на рисунке 16.

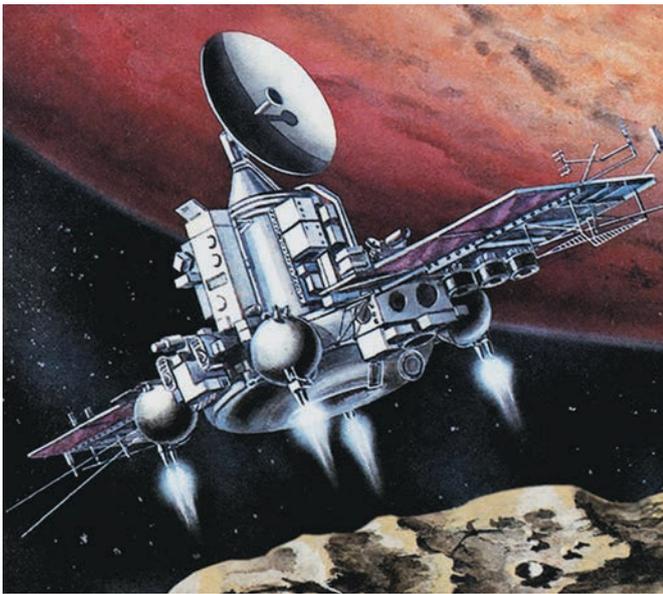


рисунок 17. КА «ФОБОС»

При реализации проекта «ВЕНЕРА-Д» предполагается применить большое количество инновационных научных и технологических решений. Научная аппаратура проекта представляет собой совершенно новый уровень приборов, многие из которых планируется использовать впервые. Впервые на поверхность Венеры будет доставлена станция, способная проработать более двух месяцев в экстремальных климатических условиях. Это позволит провести измерения долговременных вариаций физических величин и, учитывая возможность параллельных наблюдений с орбитальным аппаратом, решить новые задачи исследования состава и динамики атмосферы Венеры.

В НПО имени С.А. Лавочкина уделялось пристальное внимание изучению Марса автоматическими аппаратами. В начале 70-х годов были разработаны принципиально новые аппараты «МАРС-2, -3», предназначенные для исследования Марса и околопланетного пространства, которые были запущены в 1971 году. КА «МАРС-3» впервые в мире совершил мягкую посадку на марсианскую поверхность (*Автоматические космические аппараты...*, 2010).

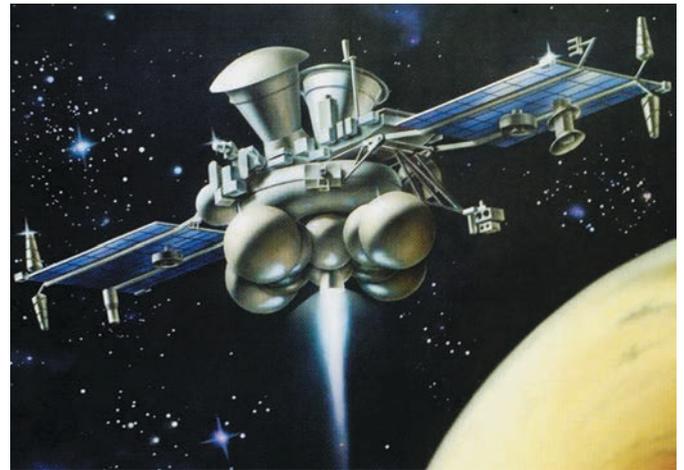


рисунок 18. КА «МАРС-96»

В ходе полёта по трассе Земля – Марс и с орбиты искусственного спутника Марса бортовым научным комплексом КА «МАРС-3» получены:

- данные по составу частиц солнечного ветра, по отдельным компонентам солнечной плазмы;
- данные по температуре грунта, его диэлектрической проницаемости;
- данные о содержании углекислого газа в атмосфере и др.

Посадочный аппарат на поверхности Марса проработал, к сожалению, короткое время. В результате этой миссии полностью отработана технология обеспечения мягкой посадки спускаемого аппарата, но научной информации с поверхности Марса получено не было.

В рамках продолжения комплексных исследований Марса (с подлётной траектории и с орбиты ИСМ и его спутника Фобоса (дистанционно и контактно) путём сближения с ним вплоть до состояния «брежущего полёта» над его поверхностью и десантирования на него стационарного и подвижного исследовательских зондов в НПО им. С.А. Лавочкина был создан КА «ФОБОС-1» (рисунок 17).

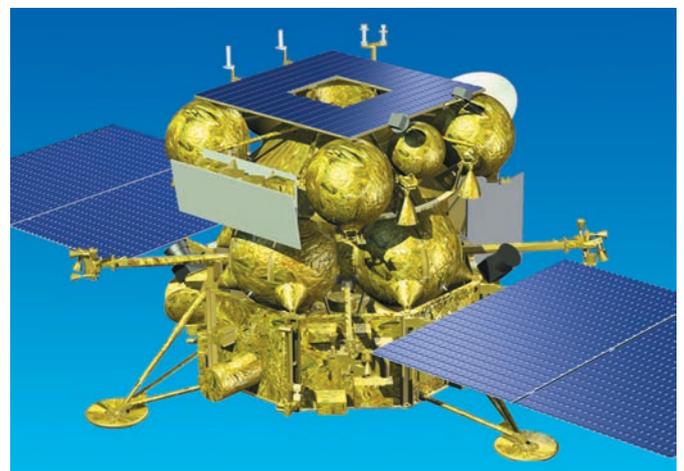


рисунок 19. КА «БУМЕРАНГ»

Запуск аппарата состоялся в 1988 году. Частично научная программа была выполнена, однако сам аппарат при сближении с Фобосом был потерян (*Полищук Г.М. и др., 2009; Polishchuk G.M. et al., 2011*).

Следующим этапом в работе НПО им. С.А. Лавочкина стало создание космического комплекса «МАРС-96» (рисунок 18). Основная задача – создание искусственного спутника планеты Марс и доставка на его поверхность исследовательских зондов. Запуск состоялся в 1996 году, однако из-за аварийной работы разгонного блока «ДМ» аппарат не вы-



рисунок 20. КА «АСТРОН»

шел на отлётную траекторию. Этот проект оставил в истории отечественной космонавтики уникальные научно-технические решения по созданию автоматических исследовательских зондов (пенетраторов и малых автономных станций), работающих при экстремальных внешних воздействиях (*Автоматические космические аппараты..., 2010; Efanov V.V., Martynov M.B., Karchaev Kh.Zh., 2018*).

Весьма актуальной задачей является изучение естественных спутников Марса – Фобоса и Деймоса – с доставкой на Землю образцов их вещества. В 2011 году для реализации этой операции был запущен КА «ФОБОС-ГРУНТ», который, к сожалению, потерпел неудачу при выведении.

В среднесрочной перспективе, с учётом имеющегося проектно-конструкторского задела, в ОКБ НПО им. С.А. Лавочкина разрабатывается проект «БУМЕРАНГ» (рисунок 19), научными задачами которого являются:

- дистанционное исследование Деймоса и Фобоса, околомарсианского пространства;
- посадка на Фобос, его многостороннее изучение контактными методами, доставка образцов реликтового вещества на Землю (*Полищук Г.М., 2009; Polishchuk G.M., 2011*).

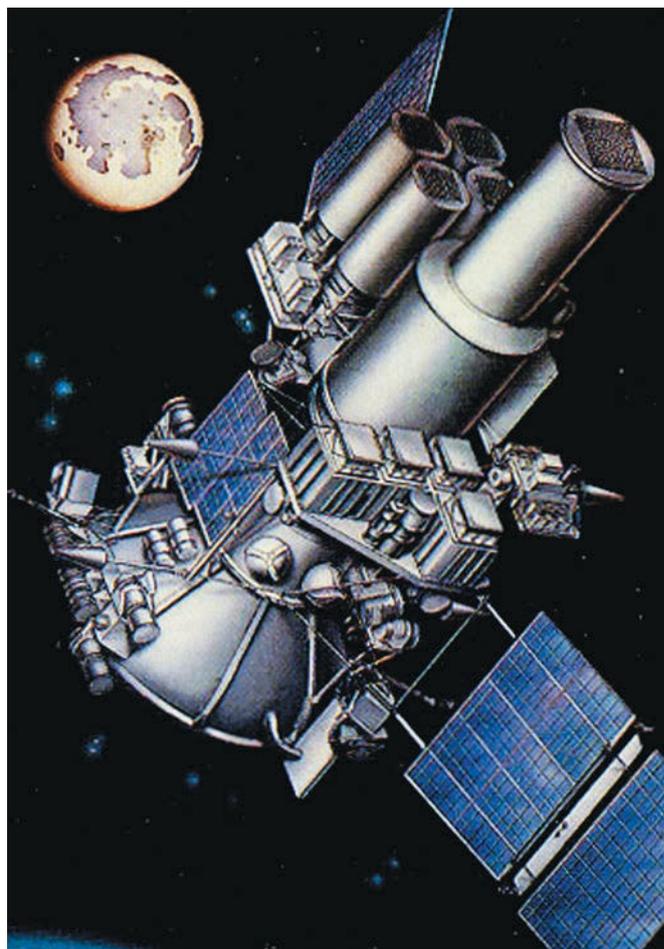


рисунок 21. КА «ГРАНАТ»

8. Астрофизические исследования в космосе

Значительное место в НПО имени С.А. Лавочкина среди проектов КА для фундаментальных научных исследований занимают орбитальные астрофизические обсерватории (внеатмосферная астрономия). Первая отечественная обсерватория – «АСТРОН» (рисунок 20), запущенная в 1983 году, открыла эту новую страницу сотрудничества НПОЛ и Российской академии наук.

КА «АСТРОН» реализовал следующую научную программу:

- исследование в ультрафиолетовом диапазоне волн звёздных объектов;
- изучение рентгеновских источников и проведение обзора небесной сферы в рентгеновском диапазоне и др.

Второй из созданных в СССР астрофизических внеатмосферных непилотируемых обсерваторий стал космический аппарат «ГРАНАТ» (рисунок 21), запущенный в 1989 году. Он предназначался для проведения астрофизических исследований галактических источников космического излучения в рентгеновском и гамма-диапазонах электромагнитного спектра.



рисунок 22. КА «СПЕКТР-Р»



рисунок 23. КА «СПЕКТР-РГ»



рисунок 24. КА «СПЕКТР-УФ»

Научная программа космической обсерватории «ГРАНАТ» включала:

- построение изображения с высоким разрешением и чувствительностью участков небесной сферы в гамма- и рентгеновском диапазонах;
- исследование спектральных характеристик;
- патрульное слежение за небесной сферой с целью обнаружения и изучения источников рентгеновского и гамма-излучений.

В продолжение программы фундаментальных астрофизических космических научных исследований в 2011 году была запущена на высокоэллиптическую орбиту астрофизическая обсерватория «СПЕКТР-Р», работающая в радиодиапазоне электромагнитного излучения (рисунок 22).

Этот КА с установленным на нём радиотелескопом образует наземно-космическую систему радиоинтерферометрии (проект «РАДИОАСТРОН») со сверхдлинными базами, предназначенную для исследования структуры космических объектов со сверхвысоким угловым разрешением. Наземное плечо интерферометра обеспечивают более 30 радиотелескопов России, Австралии, Великобритании, ЮАР, США и др. (Кардашев Н.С. и др., 2016).

В рамках научной программы изучаются в основном три группы небесных объектов: квазары – ядра далёких галактик; пульсары – нейтронные звёзды нашей галактики; мазеры – области образования звёзд.

Благодаря огромным базам, достигающим порядка 360000 км, реализовано рекордное угловое разрешение, составляющее около 10 микросекунд дуги. Отработав на орбите более двух гарантийных сроков, КА «СПЕКТР-Р» в начале 2019 года достойно завершил свою работу.

В соответствии с Программой фундаментальных астрофизических космических научных исследований в НПОЛ создана и в 2019 году запущена на орбиту в окрестность точки Лагранжа L2 системы Солнце – Земля орбитальная астрофизическая обсерватория, предназначенная для изучения Вселенной в рентгеновском диапазоне длин волн. Российский проект «СПЕКТР-РГ» с участием Германии позволяет в течение года наблюдать практически всю небесную сферу. КА несёт на борту телескопы: ART-XC (Россия), eRosita (Германия), рисунок 23.

Планируется проведение астрофизических исследований в течение 6,5 лет, из которых 4 года – в режиме сканирования звездного неба, 2,5 года – в режиме точечного наблюдения объектов во Вселенной по заявкам мирового научного сообщества.

Научные задачи проекта «СПЕКТР-РГ» (Сюняев Р.А., Чуразов Е.М., 2017):

- изучение переменности излучения сверхмассивных чёрных дыр;
- длительные непрерывные наблюдения источников со слабой рентгеновской светимостью;

- наблюдение вспышек Сверхновых с исследованием их эволюций;
- изучение черных дыр и нейтронных звёзд нашей Галактики;
- измерение расстояний и скоростей пульсаров и других галактических источников;
- исследование диффузных объектов, близких галактик;
- исследование формы спектра активных галактических ядер.

В 2025–2027 годах предполагается запуск космического аппарата «СПЕКТР-УФ» (рисунок 24), который предназначен для проведения фундаментальных астрофизических исследований в ультрафиолетовом диапазоне.

Основной целью и научной задачей исследований является получение новых данных фундаментального значения по следующим направлениям астрофизики (*Боярчук А.А., Шустов Б.М. и др., 2016*):

- эволюция Вселенной – исследование природы темной энергии и тёмного вещества;
- поиск скрытого барионного вещества;
- звёздообразование – химическая эволюция галактик в ближней Вселенной;
- аккреционные процессы в астрофизике – свойства аккреционных дисков в тесных двойных звёздах, активных галактических ядрах;
- межзвёздная среда – определение содержания дейтерия в локальной межзвёздной среде, ионизационная структура межзвёздной среды;

- физика звёзд – физика белых карликов, природа звёздного ветра у горячих звёзд, хромосферная активность звёзд;
- планетные системы – физические и химические свойства комет и планетных атмосфер, включая планеты вокруг других звёзд.

На последующий период планируются работы по астрофизическим проектам: «СПЕКТР-МИЛЛИМЕТРОН» и «ГАММА-400».

9. Программа космической гидрометеорологии

По заказу Росгидромета в НПО им. С.А. Лавочкина был создан гидрометеорологический геостационарный спутник нового поколения «ЭЛЕКТРО-Л» (рисунок 25). Первый космический аппарат системы прогноза погоды был запущен в 2011 году. Спутники «ЭЛЕКТРО-Л2» и «ЭЛЕКТРО-Л3» запущены на геостационарную орбиту в 2015 и в 2019 годах. Всего программой предусмотрено увеличение группировки до трёх спутников. Все они входят в Глобальную Систему Наблюдений, развиваемую под эгидой Всемирной метеорологической организации.

Помимо Росгидромета, этот спутник обеспечивает другие заинтересованные министерства и ведомства оперативной информацией в целях:

- анализа и прогноза погоды в региональном и глобальном масштабах;
- анализа и прогноза состояния акваторий морей и океанов, условий для полёта авиации;



рисунок 25. КА «ЭЛЕКТРО-Л»



рисунок 26. КА «АРКТИКА-М»

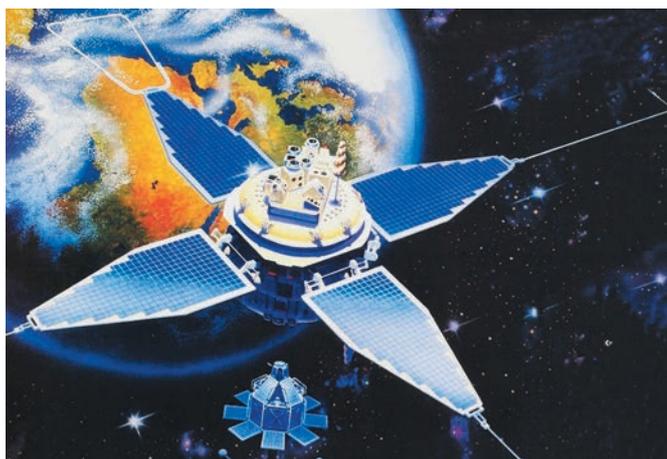


рисунок 27. КА проекта «ИНТЕРБОЛ»

- анализа и прогноза гелиогеографической обстановки в околоземном космическом пространстве, состояния ионосферы и магнитного поля Луны;
- экологического контроля окружающей среды и др.

В НПО имени С.А. Лавочкина развёрнуты работы по созданию спутниковых систем на высокоэллиптических орбитах для информационного обеспечения задач оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды в арктическом регионе.

Два космических аппарата «АРКТИКА-М» в составе высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы (ВГКС) «АРКТИКА-М» (рисунок 26) обеспечат круглосуточный всепогодный мониторинг поверхности Земли и морей Северного Ледовитого океана, а также постоянную и надёжную связь и другие телекоммуникационные услуги, что будет способствовать динамичному социально-экономическому развитию северных регионов нашей страны. Первый космический аппарат «АРКТИКА-М» запущен 28 февраля 2021 года.

Климат Земли зависит от погоды в Арктике. Движение льдов, изменения снежного покрова, параметры арктических ветров – впервые в мире космический аппарат «АРКТИКА-М» получил эти данные, необходимые для построения климатической карты нашей планеты, создания глобальных моделей,

определяющих развитие климата на Земле. Спутник находится на уникальной высокоэллиптической орбите, что позволяет вести съёмку с расстояния 30–40 тыс. км над Землёй общей продолжительностью 6 часов в сутки.

С 1972 по 1996 год в ОКБ НПО имени С.А. Лавочкина были созданы и запущены десять аппаратов серии «ПРОГНОЗ» и два аппарата «ИНТЕРБОЛ» для исследования солнечно-земных связей, солнечного ветра, космической плазмы и магнитосферы Земли (рисунок 27).

На более отдалённую перспективу в ОКБ им. С.А. Лавочкина разрабатываются проекты:

- «РЕЗОНАНС» – для исследования магнитосферы Земли, солнечной плазмы и ветра;
- «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» – для изучения Солнца с относительно близкого расстояния;
- «ЛАПЛАС» – для исследования системы Юпитера с возможной посадкой на один из спутников планеты и др.

10. Средства выведения

В 1965 году в НПО им.С.А.Лавочкина вместе с космической тематикой от ОКБ С.П. Королёва был передан для изготовления разгонный блок «Л» – четвёртая ступень ракеты-носителя «Молния». За долгие годы производства и эксплуатации, начиная с 1966 года, блок доказал свою высокую надёжность: из 278 запусков 264 прошли успешно, вероятность безотказной работы составила 0,967.

В начале 90-х годов Роскосмос и Министерство обороны РФ поставили перед НПО им. С.А. Лавочкина задачу создания нового разгонного блока, применение которого должно повысить эффективность существующих и перспективных средств выведения.



рисунок 28. Разгонный блок «Фрегат»

В создании разгонного блока, получившего наименование «Фрегат» (рисунок 28), совместно с НПО им. С.А. Лавочкина приняли участие: ФГУП «Научно-производственный центр Автоматики и приборостроения им. академика Н.А. Пилюгина», «КБ Химического машиностроения им. А.М. Исаева», Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения, акционерное общество «Ижевский радиозавод» и инженерная фирма «Орион-ХИТ».

Первый запуск РБ «Фрегат» состоялся в 2000 году. На сегодняшний день успешно отработали почти 110 межорбитальных буксиров, выведено на орбиты искусственных спутников Земли и на отлётные траектории к другим планетам около 800 автоматических космических аппаратов как российских, так и зарубежных. Следует отметить, что «Фрегат» адаптирован к ракетам-носителям серий «Союз», а пуски осуществляются с космодромов Байконур, Плесецк и Восточный, а также с космодрома Куру (Французская Гвиана).

Отмечая 85-летие НПО им. С.А. Лавочкина, пожелаем всем членам нашего творческого коллектива здоровья, уникальных и интересных проектов, научно-технических побед и достижений. А объективная оценка «ВПЕРВЫЕ В МИРЕ» пусть и дальше сопровождает историю реализации новых проектов нашего объединения!

список литературы

Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований / Под общ. ред. Г.М. Полищука и К.М. Пичхадзе. М.: Из-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 660 с.

Боярчук А.А., Шустов Б.М. и др. Научные задачи космического проекта «СПЕКТР-УФ» (Всемирная космическая обсерватория –Ультрафиолет) // *Астрономический журнал*. 2016. Т. 93, № 1. С. 3-48.

Ваго Х., Витасс О., Бальони П., Хальдеманн А. и др. Проект «ЭКЗОМАРС»: ЕКА – следующий этап научных исследований Марса // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2014. № 2. С. 22-31.

Вайсберг О.Л. Проект «ВЕГА» – воспоминания участника (к 30-летию сближения КА с кометой Галлея) // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2016. № 2. С. 22-30.

Ефанов В.В., Долгополов В.П. Луна. От исследования к освоению (к 50-летию космических аппаратов «ЛУНА-9» и «ЛУНА-10») // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2016. № 4. С. 3-8.

Засова Л.В., Горинов Д.А., Эйсмонт Н.А., Коваленко И.Д. и др. «ВЕНЕРА-Д» – проект автоматической

станции для исследования Венеры // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2018. № 3. С. 13-17.

Зеленый Л.М., Кораблев О.И., Родионов Д.С., Новиков Б.С. и др. Научные задачи комплекса научной аппаратуры посадочной платформы проекта «ЭКЗОМАРС-2018» // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2014. № 2. С. 13-21.

Казмерчук П.В., Мартынов М.Б., Москатиньев И.В., Сысоев В.К., Юдин А.Д. Космический аппарат «ЛУНА-25» – основа новых исследований Луны // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2016. № 4. С. 9-19.

Кардашев Н.С., Алакоз А.В., Андрианов А.С., Артюхов М.И. и др. «РАДИОАСТРОН» – итоги выполнения научной программы за 5 лет полёта // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2016. № 3. С. 4-24.

Космический полёт НПО им. С.А. Лавочкина / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. К.М. Пичхадзе и д-ра техн. наук, проф. В.В. Ефанова. М.: Из-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 692 с.

Полищук Г.М., Пичхадзе К.М., Ефанов В.В., Мартынов М.Б. Космические модули комплекса «Фобос-Грунт» для перспективных межпланетных станций // *Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина*. 2009. № 2. С. 3-7.

Сюняев Р.А., Чуразов Е.М. Наука обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма». Чего мы ждём от самого глубокого обзора всего неба в рентгеновских лучах? // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2017. № 2. С. 24-37.

Хартов В.В., Мартынов М.Б., Лукьянчиков А.В., Алексашкин С.Н. Проектная концепция десантного модуля «ЭкзоМарс-2018», создаваемого НПО им. С.А. Лавочкина // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2014. № 2. С. 5-12.

Якубович Н.В. Самолёты С.А. Лавочкина. М.: Русское авиационное общество, 2002. 160 с.

Efanov V.V., Martynov M.B., Karchaev Kh.Zh. Aerial Vehicles Developed at Lavochkin Research and Production Association (On the 80th Anniversary of the Lavochkin Association) // *Solar System Research*. 2018. Vol. 52, № 7. P. 557-569.

Khartov V.V., Zelenyi L.M., Dolgoplov V.P., Efanov V.V. et al. New Russian lunar unmanned space complexes // *Solar System Research*. 2011. Vol. 45, № 7. P. 690-696.

Polishchuk G.M., Pichkhadze K.M., Efanov V.V., Martynov M.B. Space modules of Phobos-Grunt complex for prospective interplanetary stations // *Solar System Research*. 2011. Vol. 45, № 7. P. 589-592.

Статья поступила в редакцию 25.02.2022

Статья после доработки 25.02.2022

Статья принята к публикации 25.02.2022

ЗВЁЗДЫ ЗАЖИГАЮТ В ХИМКАХ**STARS ARE LIT IN KHMKI**

Л.М. Зелёный¹,
академик РАН,
lzelenyi@iki.rssi.ru;
L.M. Zelenyi



О.В. Закутняя¹,
кандидат
филологических наук,
olga.zakutnyaya@cosmos.ru;
O.V. Zakutnyaya

Статья посвящена результатам деятельности НПО им. Лавочкина в области создания аппаратов для космических исследований: околоземного пространства, Луны, планет Солнечной системы, проведения астрофизических наблюдений. Изложены ближайшие перспективы отечественной космической программы.

Ключевые слова:
НПО им. Лавочкина;
Венера; Марс; Луна;
ИНТЕРБОЛ; СПЕКТР;
космические исследования.

The article is devoted to the results of the activities of Lavochkin Association in the field of design the spacecraft for space research: near-Earth space, the Moon, planets of the Solar system, astrophysical observations. The short-term prospects of the national space program are outlined.

Key words:
Lavochkin Association;
Venus; Mars; Moon;
INTERBOL; SPEKTR;
space research.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.002



¹ ФГБУН Институт космических исследований РАН, Россия, г. Москва.

Space Research Institute of RAS, Russia, Moscow.

«...Если звёзды зажигают, – значит, это кому-нибудь нужно?» – вопрошал великий поэт. Те звёзды, которые зажигают в Химках, – космические аппараты, исследующие ближний и дальний космос, – нужны всем, и в первую очередь ученым, ищущим в космосе ответы на самые главные загадки мироздания. Уже почти 60 лет академические и университетские научные приборы, работающие на космических аппаратах, созданных учёными, инженерами и техниками НПО Лавочкина, дают всё более точные ответы на эти вопросы.

«Космическая» дорога НПО им. С.А. Лавочкина началась ещё во времена С.П. Королёва, когда руководителем предприятия (тогда оно называлось иначе) был Георгий Николаевич Бабакин (*Зеленый Л.М., Зайцев Ю.И., 2014*).

Говорят, первая встреча Г.Н. Бабакина и С.П. Королёва случилась на одном из совещаний, где Георгий Николаевич докладывал о разработке телемеханической системы управления полётом ракеты. Сергей Павлович оценил не только её высокий уровень, но и роль докладчика в проработке принципиально новых направлений создания систем управления: «В этом человеке есть искра божья», – сказал он. Позже, когда будет решаться вопрос о подключении возглавляемого Бабакиным предприятия к космической тематике, С.П. Королёв уточнит: «Ему можно доверить!».

Предложение Сергея Павловича передать работы по созданию автоматических космических станций для исследования Луны, Венеры, Марса и ряда искусственных спутников Земли в НПО им. Лавочкина было принято руководством страны (*Пичхадзе К.М., Шевалев И.Л., 2012*). И с первых же проектов развернулось широкое сотрудничество с научными организациями. В это время научную программу СССР возглавлял академик, президент Академии наук, выдающийся математик М.В. Келдыш, по инициативе которого, в частности, были созданы два «специализированных» академических института, работающих в космической сфере: Институт медико-биологических проблем и Институт космических исследований.

К тому времени около трёх с половиной столетий длилась эпоха визуального изучения Луны, и к началу космической эры о ней уже было известно достаточно много. При хороших атмосферных условиях с помощью телескопов можно рассмотреть на Луне детали размером всего в несколько сотен метров. Этого оказалось достаточно, чтобы составить подробную карту поверхности видимого с Земли полушария Луны. В середине прошлого столетия на помощь астрономам пришла радиолокация. Но и она не смогла ответить на все вопросы. Например, какова обратная сторона Луны; не покрыта ли она толстым слоем пыли из мелко раздробленных метеоритами

горных пород, в которой можно утонуть; есть ли у Луны магнитное поле... Ничего не было известно и о степени радиоактивности поверхности, порождаемой падающими на поверхность потоками солнечного и космического излучений.

Вполне естественно, что именно Луна стала первой целью автоматических межпланетных станций. Уже на начальном этапе исследований с помощью магнитометров, установленных на первых «лунниках», были выполнены магнитные измерения вплоть до 55 км над лунной поверхностью. Фотографирование невидимой с Земли стороны позволило сделать важные выводы о физических особенностях всей поверхности Луны, её структуре и тех процессах, которые привели к формированию современного рельефа.

Передавая Г.Н. Бабакину эстафету по созданию лунных и межпланетных аппаратов (1965), С.П. Королёв предлагал сосредоточиться в первую очередь на отработке мягкой посадки на Луну (*Автоматические космические аппараты...*, 2010). К этому времени ни одна из ранее предпринятых попыток отечественных и американских исследователей доставить на лунную поверхность научную аппаратуру в работоспособном состоянии не увенчалась успехом. С 1959 по 1965 годы совершено было пять жестких «посадок» американских «РЕЙНДЖЕРОВ», и четырёх – советских «ЛУН».

Под руководством Г.Н. Бабакина были существенно доработаны и испытаны системы мягкой посадки, тестирования и управления. Это позволило добиться успеха там, где у королёвского предприятия не получилось – первую мягкую посадку на Луну выполнила автоматическая станция «ЛУНА-9» 03.02.1966.

Гипотеза о «лунной пыли», в которой мог бы утонуть космический аппарат, и история которой восходила едва ли не к Галилею, была сразу же развеяна. К сожалению, С.П. Королёв ушёл из жизни во время неудачной операции всего за три недели до этого исторического дня и не увидел, что сбылся его интуитивный прогноз: «Луна твёрдая», – который он в письменном виде дал колеблющимся проектантам.

На Землю были переданы телевизионные панорамы поверхности Луны. За несколько минут удалось увидеть неизмеримо больше, нежели за столетия, которые провели астрономы у окуляров телескопов.

Вслед за «ЛУНОЙ-9» были запущены три искусственных спутника Луны: «ЛУНА-10» (31.03.1966), «ЛУНА-11» (24.08.1966), и «ЛУНА-12» (22.10.1966). 24 декабря 1966 года мягкую посадку на лунную поверхность совершила «ЛУНА-13». Итого пять лунных станций за один год. Ни одна из станций не повторяла предыдущую: в каждой были свои «изюминки», реализованы новые конструкторские

решения, использована дополнительная научная аппаратура.

С 1970-х годов начался новый этап. К Луне запускаются принципиально новые, более совершенные лунные аппараты, разработанные уже под непосредственным руководством Г.Н. Бабакина. «ЛУНА-16» и, уже после ухода Георгия Николаевича в 1971-м году из жизни, «ЛУНА-20» и «ЛУНА-24» доставили на Землю образцы лунных пород. С созданием луноходов («ЛУНА-17» и «ЛУНА-21») впервые появилась возможность проводить исследования в различных местах лунной поверхности, удаленных от места посадки.

Последняя советская экспедиция «ЛУНА-24» состоялась почти 50 лет назад в далеком 1976 году. Новая российская лунная программа, о которой мы расскажем ниже, стартует, наконец, в этом 2022 году. Чтобы показать преемственность отечественных лунных исследований, мы ведем отсчет от «ЛУНЫ-24» и первая российская посадочная экспедиция носит гордое название «ЛУНА-25». Перефразируя слова Ньютона, можно сказать, что мы так далеко видим теперь, потому что стоим на плечах гигантов – инженеров и ученых «бабакинского призыва».

Как и лунные аппараты, автоматические межпланетные станции для исследования Венеры первоначально создавались на предприятии С.П. Королёва. Бабакинский коллектив подключился к этому направлению, начиная с проектирования АМС «ВЕНЕРА-4» (запуск 12.06.1967). Ещё не было достоверной информации об условиях на поверхности планеты, прежде всего о температуре и давлении. Спускаемый аппарат изготовили в расчете на давление 10 атм. Станция прекратила работу на высоте 26 км от поверхности, не выдержав реального давления в 18 атм на этой высоте. Тем не менее удалось выполнить прямые измерения характеристик атмосферы в течение первых полутора часов спуска.

Через полтора года запускаются «ВЕНЕРА-5» (05.01.1969) и «ВЕНЕРА-6» (10.01.1969). Спускаемые аппараты станций были рассчитаны на давление 25 атм. При возрастании в ходе спуска давления до 27 атм и температуры до 320°C приём сигналов со станции прекратился.

17 августа 1970 года стартовала АМС «ВЕНЕРА-7». Спускаемый аппарат станции был рассчитан уже на давление 150 атм и температуру 500°C. 15 декабря 1970 года он опустился на Венеру и в течение 23 минут передавал информацию с поверхности другой планеты. По данным бортовых приборов, состав атмосферы – в основном углекислый газ, температура на поверхности 475°C, давление 96 атм.

Одновременно с созданием все более совершенных венерианских станций под руководством Г.Н. Бабакина разрабатывался унифицированный межпланетный аппарат для исследования Марса. Забегая

несколько вперед, отметим, что он послужил впоследствии базой для серии станций «МАРС-4» – «МАРС-7», «ВЕНЕРА-9» – «ВЕНЕРА-16», а также для многоцелевых «ВЕГА-1», «ВЕГА-2» и астрофизических обсерваторий «АСТРОН» и «ГРАНАТ». Они были выведены в космос с 1973 по 1989 год.

Работы по созданию АМС «МАРС-2» и «МАРС-3» завершились к середине 1971 года. В декабре этого года после шестимесячного полёта обе станции были выведены на околомарсианские орбиты. При подлёте к планете от «МАРСА-3» был отделён спускаемый аппарат, который совершил мягкую посадку на планету. Орбитальные аппараты станций стали искусственными спутниками Марса. Выполненные ими семь экспериментов были связаны с исследованиями самой планеты (измерение температуры грунта планеты, изучение её рельефа, состава и строения атмосферы с помощью инфракрасного радиометра, ультрафиолетового фотометра, радиотелескопа; имелся также комплекс для исследования магнитного поля и заряженных частиц в окрестностях Марса), три – с измерением параметров межпланетной среды и один – с исследованием радиоизлучения Солнца.

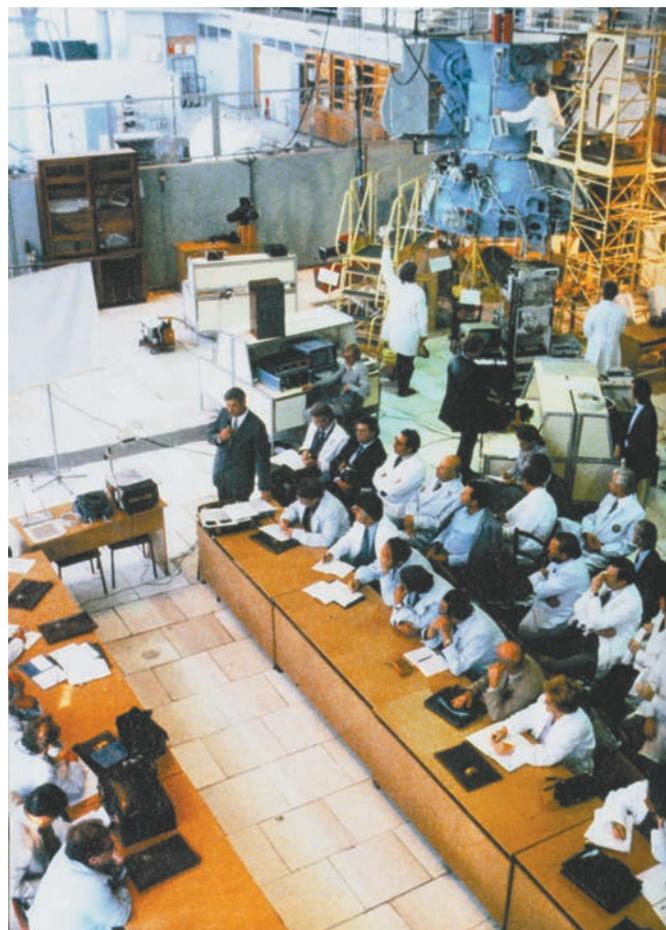


рисунок 1. Заседание международного научно-технического совета по проекту ВЕГА. Фото из архива ИКИ РАН

Программу изучения Марса продолжили затем АМС «МАРС-4» – «МАРС-7» (1973). Впервые были выполнены прямые исследования марсианской атмосферы. В области высот от 20 км до поверхности измерялись давления и температура, определялся химический состав атмосферы и, в частности, содержание водяного пара в ней. Было выявлено присутствие небольшого количества озона на низких широтах. В основном же атмосфера, как показали измерения, состоит из углекислого газа, азота и аргона с примесью кислорода. Инфракрасный радиометр измерил яркостную температуру грунта.

«ВЕНЕРА-8» стартовала в 1972 году. Впервые спускаемый аппарат станции произвел посадку на дневную сторону планеты. Важной вехой в венерианской программе исследований стала работа межпланетных станций «ВЕНЕРА-9» и «ВЕНЕРА-10» (1975) – первых искусственных спутников планеты, спускаемые аппараты которых также впервые передали на Землю телевизионные изображения участков поверхности в месте посадки. Спускаемые аппараты станций «ВЕНЕРА-11» – «ВЕНЕРА-14» (1978–1982) выполнили тонкий химический анализ атмосферы и грунта планеты. С орбиты искусственных спутников Венеры станции «ВЕНЕРА-15» и «ВЕНЕРА-16» (1983) провели радиолокационную съёмку поверхности планеты. Это позволило составить рельефный глобус её северного полушария.

Значительным успехом стал проект ВЕГА – полет созданных в НПО им. Лавочкина автоматических

станций «ВЕГА-1» и «ВЕГА-2». Название проекта было образовано из наименования двух пунктов назначения полета: планеты Венера и кометы Галлея. В свое время этот проект был одним из самых сложных в истории исследования Солнечной системы при помощи космических аппаратов и, пожалуй, самым успешным в советской космической программе.

Проект ВЕГА состоял из трех частей. Первая – изучение атмосферы и поверхности Венеры с помощью посадочных аппаратов. Вторая – исследование атмосферной динамики Венеры посредством аэростатных зондов, которые впервые в мире были введены в атмосферу другой планеты. Наконец, третья – пролёт через газопылевую атмосферу (кóму) и плазменную оболочку кометы Галлея. Все исследования выполнялись при широкой международной кооперации с участием научных организаций СССР, Австрии, НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, Франции, ФРГ, ЧССР. (рисунок 1) Подробнее о нём можно узнать в статье *Зеленый Л.М., Зайцев Ю.И.* Проект ВЕГА: как это было // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 3. С. 94-102.

«ВЕГА-1» стартовала с Байконура 15 декабря 1984 года, через шесть дней за ней последовала «ВЕГА-2». В июне станции пролетели мимо Венеры и вышли на траекторию сближения с кометой Галлея. Перед пролетом около Венеры от них отделились спускаемые аппараты, каждый из которых разделился в венерианской атмосфере на две части: посадочный модуль и аэростатный зонд. В процессе снижения посадочных аппаратов измерялись характеристики облачного слоя и химического состава атмосферы. Посадка модуля станции «ВЕГА-2» впервые была выполнена в высокогорном районе, поэтому анализ грунта в этом месте представлял особый интерес. По своему составу он оказался близким к оливиновому габбро-нориту. Были также обнаружены породы с относительно невысоким содержанием естественных радиоактивных элементов.

Аэростатные зонды после наполнения их оболочек гелием дрейфовали в атмосфере планеты на высоте 53–55 км, выполняя измерения метеорологических параметров. Продолжительность работы зондов составила более 46 часов. Была получена новая уникальная информация о венерианской атмосфере. В частности, данные зондов показали наличие очень активных процессов в облачном слое Венеры, характеризующихся мощными восходящими и нисходящими потоками. Были также обнаружены грозовые разряды.

Но самой интересной была третья часть проекта – исследование кометы Галлея. «ВЕГИ» и комета двигались на встречных курсах. Скорость сближения превышала 70 км/с. Трудность состояла и в том, что

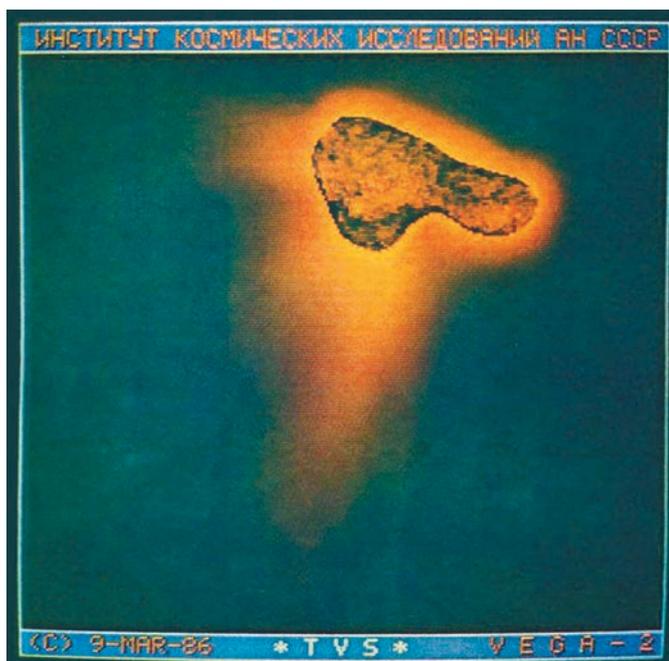


рисунок 2. Изображение ядра кометы Галлея, полученное в реальном времени во время пролёта космических аппаратов «ВЕГА». Фото из архива ИКИ РАН



рисунок 3. Космический аппарат «СПЕКТР-РГ» в АО «НПО Лавочкина» перед отправкой на Байконур.
Фото АО «НПО Лавочкина»

было невозможно заранее рассчитать траекторию движения кометы с необходимой точностью. Её уточнение продолжалось вплоть до прохождения станций мимо кометного ядра (рисунок 2). «ВЕГА-1» прошла на расстоянии 8890 км от него, «ВЕГА-2» – на расстоянии 8030 км. Благодаря информации, полученной от «ВЕГ», удалось более точно подвести к комете европейский аппарат «ДЖОТТО» – всего на 596 км.

«ВЕГИ» передали около 1500 снимков внутренних областей кометы и ее ядра. Была получена информация о пылевой обстановке внутри комы, характеристиках плазмы, измерен темп испарения кометного вещества – 40 т в секунду в момент прохода «ВЕГ» и многое другое. Изображения ядра кометы были получены впервые в мире.

Незадолго до начала реализации проекта ВЕГА стартовала и первая отечественная астрофизическая обсерватория «АСТРОН». На околоземной орбите она функционировала около восьми лет, выполняя исследования в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах.

В продолжение отечественных астрофизических исследований в 1989 году была выведена на орбиту искусственного спутника Земли обсерватория «ГРАНАТ» с рентгеновским и гамма-телескопом

на борту. Среди наиболее значимых результатов работы обсерватории следует отметить глубокие изображения Центра Галактики в жестком и мягком рентгеновском диапазонах. Было открыто около двадцати неизвестных ранее источников рентгеновского излучения – кандидатов в черные дыры и нейтронных звезд. Получены спектры более десятка аккрецирующих черных дыр в широчайшем диапазоне энергий от 2 до 800 кэВ. Эти источники характеризуются самыми жесткими спектрами из наблюдавшихся обсерваторией (жесткость спектра – важнейший критерий диагностики природы рентгеновского объекта в двойной системе). Были также обнаружены послесвечения гамма-всплесков в мягком гамма-диапазоне.

Дальнейшее развитие отечественных астрофизических исследований в космосе получило огромный импульс с созданием в НПО им. С.А. Лавочкина модуля «Навигатор». Он позиционируется как универсальный для космических аппаратов различного назначения. В зависимости от задач, базирующихся на нём околоземных космических аппаратов, они могут функционировать на низких круговых, эллиптических, высоких электрических и геостационарных орбитах и в точках либрации.

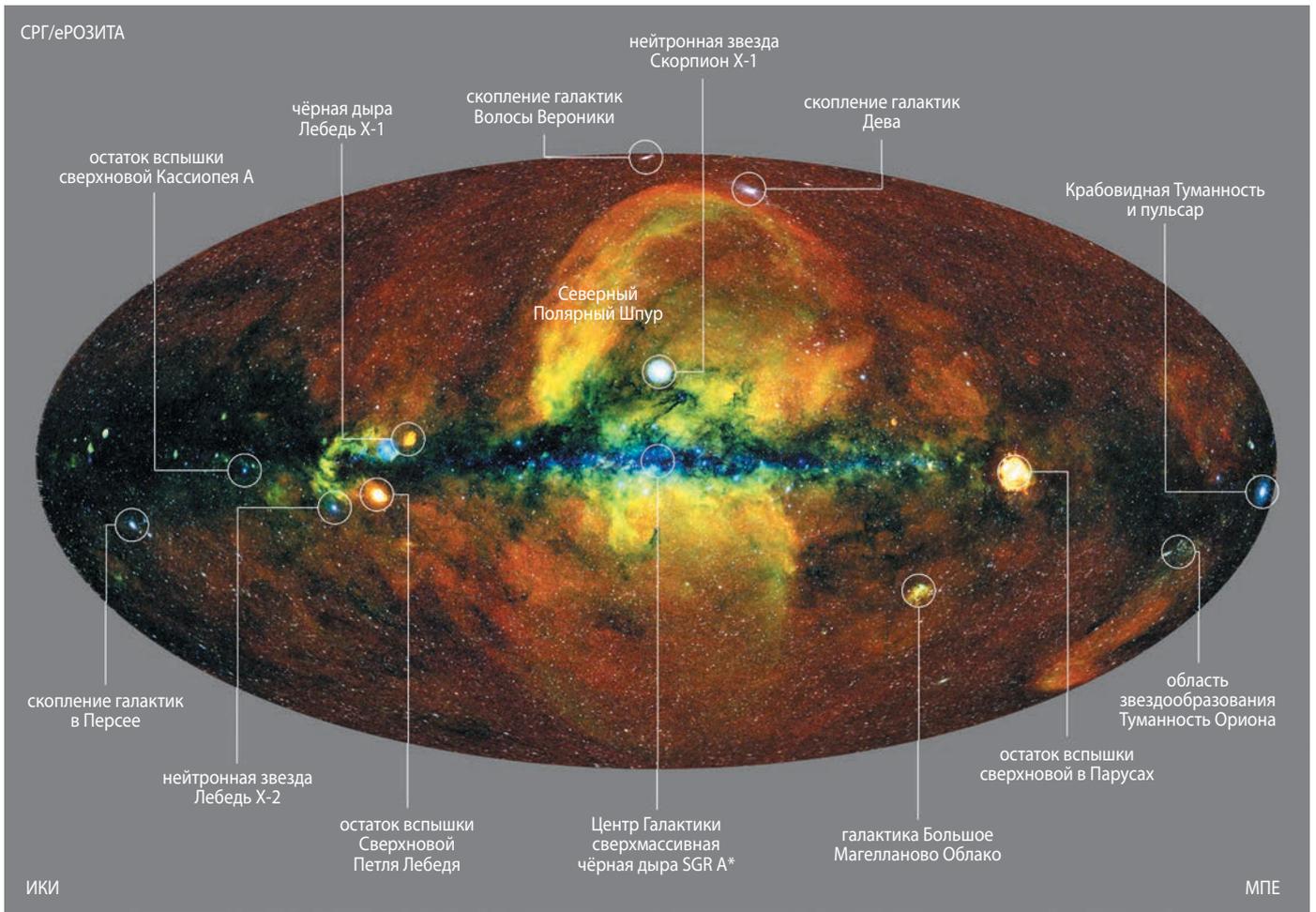


рисунок 4. Карта всего неба СРГ/еРОЗИТА с указанием наиболее ярких и примечательных объектов и протяженных структур © М. Гильфанов, Р. Сюняев, Е. Чуразов (ИКИ), Н. Brunner, A. Merloni, J. Sanders (МПЕ)

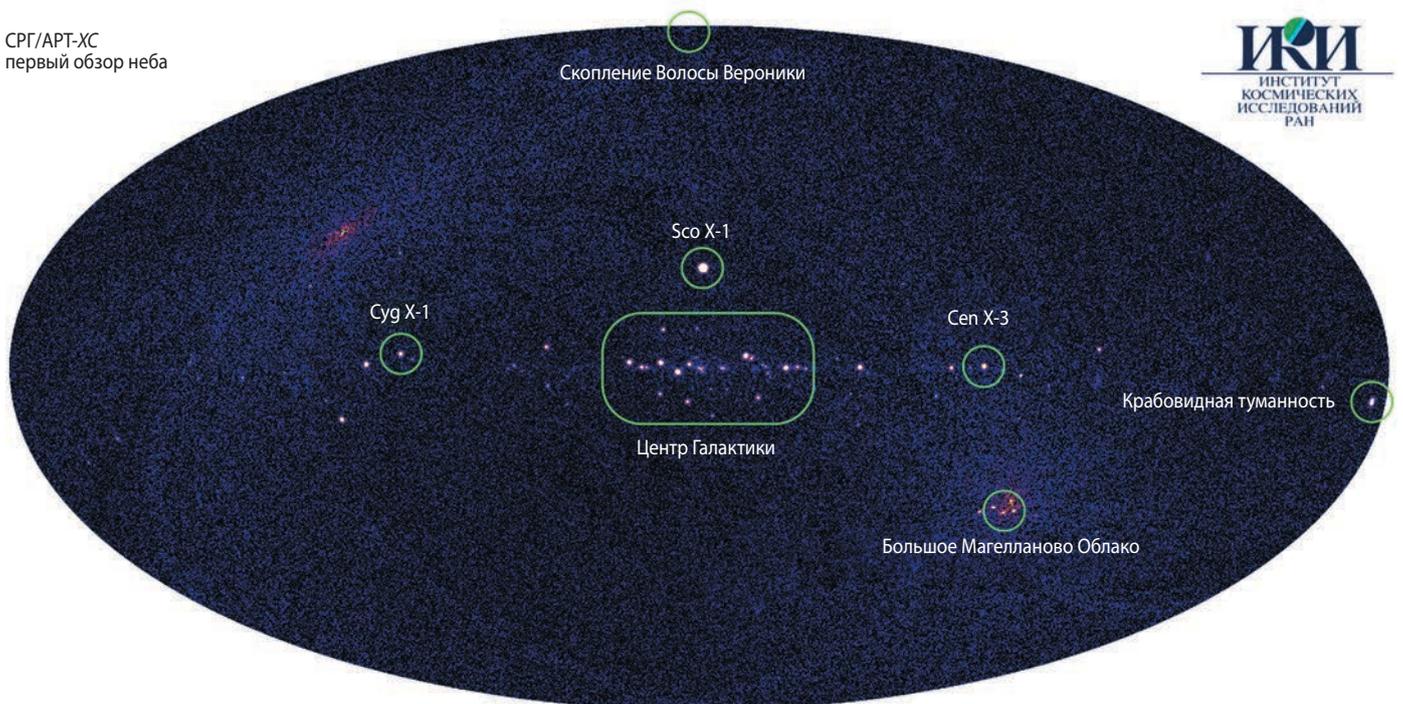


рисунок 5. Карта первого обзора ART-XC в диапазоне 4–12 кэВ, в галактических координатах (декабрь 2019 – декабрь 2020). Подписаны основные источники рентгеновского излучения © ИКИ РАН

В частности, на основе «Навигатора» в НПО им. С.А. Лавочкина созданы три российских астрофизических обсерватории для изучения Вселенной в разных диапазонах энергий.

Первая – радиотелескоп «СПЕКТР-Р» (проект РАДИОАСТРОН). Он был выведен в космос 18 июля 2011 года. В нём воплощены принципы радиоинтерферометрических наблюдений со сверхдлинными базами (РСДБ) очень высокого углового разрешения. Космический радиотелескоп диаметром 10 метров на борту «СПЕКТРА-Р» в ходе научных наблюдении

стал элементом наземно-космического интерферометра, длина базы которого составила до 300 тыс. км – в соответствии с апогеем орбиты. В качестве наземных элементов интерферометра использовались крупнейшие радиотелескопы мира. Радиотелескоп «СПЕКТР-Р» с диаметром зеркала 10 м был также создан в НПО Лавочкина. Конструкторам пришлось решить нетривиальную задачу и создать раскрывающуюся конструкцию, которую можно было разместить под обтекателем ракеты-носителя гораздо меньшего диаметра.

К сожалению, «СПЕКТР-Р» проработал меньше, чем ожидалось, до конца мая 2019 года. Но обработка полученных с его помощью данных продолжается. Продолжением этой миссии может стать проект «МИЛЛИМЕТРОН», который сейчас прорабатывается в АО «ИСС», АО «НПО Лавочкина» и научных организациях.

Следующим «СПЕКТРОМ» стала рентгеновская обсерватория «СПЕКТР-РЕНТГЕН-ГАММА» (СРГ) (рисунок 3). 13 июля 2019 года она была выведена в космос и с осени того же года начала работу в точке Лагранжа L_2 . Обсерватория СРГ создана в рамках Федеральной космической программы России по заказу Российской академии наук с участием Германии. Обсерватория оснащена двумя уникальными рентгеновскими зеркальными телескопами: ART-XC им. М.Н. Павлинского (ИКИ РАН, Россия) и eROSITA (MPE, Германия), работающими по принципу рентгеновской оптики косоугольного падения (рисунок 4). Основная цель миссии – построение карты всего неба в мягком (0,3–8 кэВ) и жестком (4–20 кэВ) диапазонах рентгеновского спектра с беспрецедентной чувствительностью. Обсерватория должна проработать в космосе не менее 6,5 лет (рисунок 5).

В декабре 2021 года телескопы обсерватории завершили четвёртый обзор небесной сферы и приступили к пятому (всего в рамках миссии запланировано восемь полных обзоров, по данным которых должна быть создана наиболее полная на сегодня карта неба в мягком рентгеновском диапазоне). К сожалению, 26 февраля 2022 года германский телескоп eROSITA был переведён в «спящий» режим и обзор был приостановлен. Программа наблюдений с помощью российского телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского была скорректирована с учётом полученных к этому времени результатов.

К февралю 2022 года научные команды телескопов опубликовали полные карты неба, полученные по данным первого года наблюдений. Уже благодаря им были открыты многие новые источники и объекты (рисунок 6). Так, в частности, первый каталог,



рисунок 6. Почтовый блок «Россия – космическая держава», выпущенный в июне 2020 года. На почтовом блоке из трёх марок изображены достижения российской космонавтики: первый самоходный аппарат «ЛУНОХОД-1» (запуск 1970), астрофизическая обсерватория «СПЕКТР-РГ» (запуск 2019), перспективный пилотируемый корабль «Орёл» (2025). Художник-дизайнер – Бетрединова Х. © АО «Марка»



рисунок 7. Космический аппарат серии «ПРОГНОЗ» проекта ИНТЕРШОК («ПРОГНОЗ-10»).
Фото из архива ИКИ РАН

составленный по данным телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского за первый год работы, содержит около 870 точечных источников, из которых 114 – новые, то есть не обнаруженные ранее в рентгеновском диапазоне электромагнитного спектра.

На базе платформы «Навигатор» также создается третья космическая обсерватория серии «СПЕКТР» – «СПЕКТР-УФ», предназначенная для спектроскопии слабых источников УФ-излучения.

Вселенная в УФ-диапазоне изучена очень слабо, и на ближайшие десятилетия актуальность исследований в УФ-участке спектра будет только увеличиваться. Выбранные для обсерватории направления исследований и её параметры позволят сохранить высокую научную значимость проекта и обеспечат выполнение задач на высочайшем уровне технического решения в течение следующих не менее 10–15 лет.

На борту аппарата «СПЕКТР-Р» была установлена дополнительная научная нагрузка – комплекс приборов для плазменных исследований «Плазма-Ф». В ходе этого эксперимента велся мониторинг пара-

метров плазмы солнечного ветра и магнитосферы Земли – это позволяла делать высокоапогейная орбита аппарата, который проходил области и внутри земной магнитосферы, и за её пределами. Главной особенностью комплекса «Плазма-Ф» стало очень высокое для такого рода измерений плазмы временное разрешение. В частности, российско-чешский спектрометр солнечного ветра БМСВ проводил 32 измерения в секунду, что в 100 раз лучше, чем у аналогичных приборов, работавших на других космических аппаратах. Даже сейчас, по прошествии десяти лет, его не удалось достичь ни в одной из миссий, запущенных в последние годы. Поэтому плазменные данные, полученные в этом проекте, долгие годы будут оставаться уникальными и служить источником новых знаний по физике околоземной плазмы.

Высокое временное разрешение плазменного спектрометра БМСВ позволило, в частности, впервые провести систематические исследования параметров флуктуаций, ответственных за «перемешивание» солнечного ветра. В солнечном ветре формируется

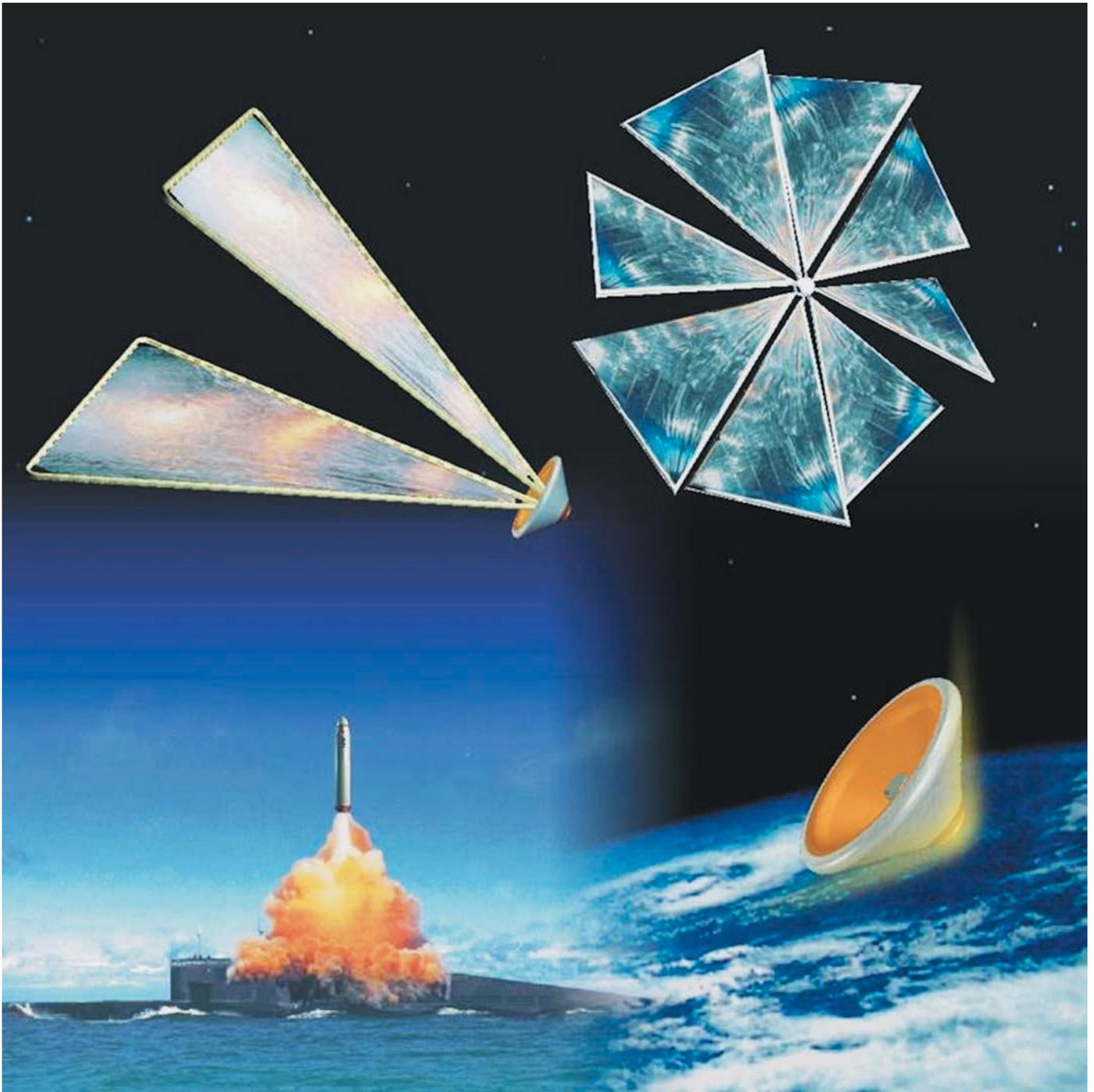


рисунок 8. Одна из иллюстраций проекта «Солнечный парус»

сложная иерархия структур различного масштаба (трубок, вихрей и пр.), называемая турбулентностью. Ранее считалось, что турбулентность в солнечном ветре развивается свободно по мере его распространения от Солнца до Земли, однако результаты измерений БМСВ поставили под сомнения эту точку зрения. Оказалось, что границы между потоками плазмы различной природы могут иметь такое же критичное воздействие на свойства турбулентного потока, как и стенки установки для лабораторной плазмы, где подобные явления являются главным препятствием

для создания управляемой термоядерной реакции. Аналогично земной плазме, в солнечном ветре это также приводит к нагреву и ускорению частиц плазмы. Эти исследования важны также для задачи предсказания космической погоды, так как дают дополнительную информацию о взаимодействии потоков солнечного ветра между собой по мере движения от Солнца.

Эксперимент «Плазма-Ф» стал продолжением ранее выполненных исследований по солнечно-земной физике на базе разработанных под руководством

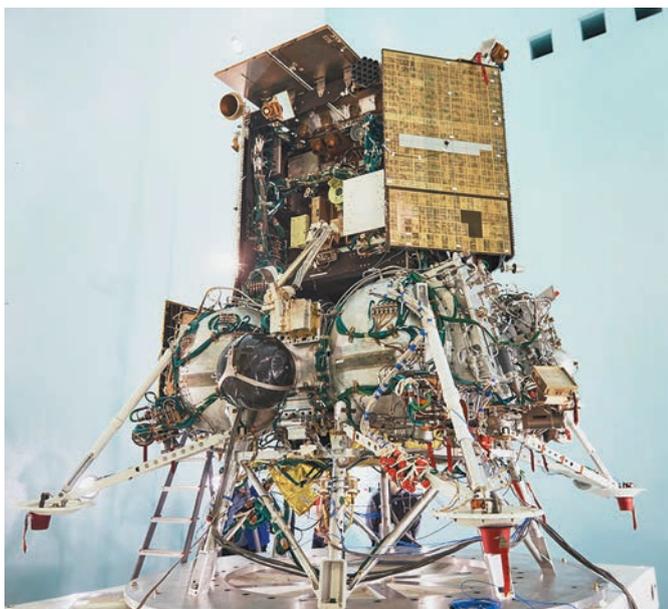


рисунок 9. Космический аппарат миссии «ЛУНА-25» после завершения сборки в октябре 2021 года. Фото ГК «Роскосмос» / АО «НПО Лавочкина»

Г.Н. Бабакина спутников серии «ПРОГНОЗ». Всего с 1972 по 1996 годы было запущено 12 аппаратов этой серии. «ПРОГНОЗ-1, -2, -3» предназначались для контроля радиационной активности Солнца и прогнозирования радиационной безопасности полетов космонавтов. В ходе полётов «ПРОГНОЗ-4, -5, -6, -7, -8» были проведены уникальные исследования структуры ударных волн солнечного ветра возле Земли. В международном проекте РЕЛИКТ (СССР, Чехословакия, Франция, 1983) на борту «ПРОГНОЗА-9» измерялась анизотропия реликтового излучения по небесной сфере. Основной целью советско-чехословацкого проекта ИНТЕРШОК («ПРОГНОЗ-10», 1985) было исследование тонкой структуры и магнитопаузы, возникающих при взаимодействии солнечного ветра с земной магнитосферой (рисунок 7).

Уникальным по количеству и качеству измерений, проведенных во всех ключевых областях околоземного космического пространства, стал проект ИНТЕРБОЛ. Он также реализовывался на базе

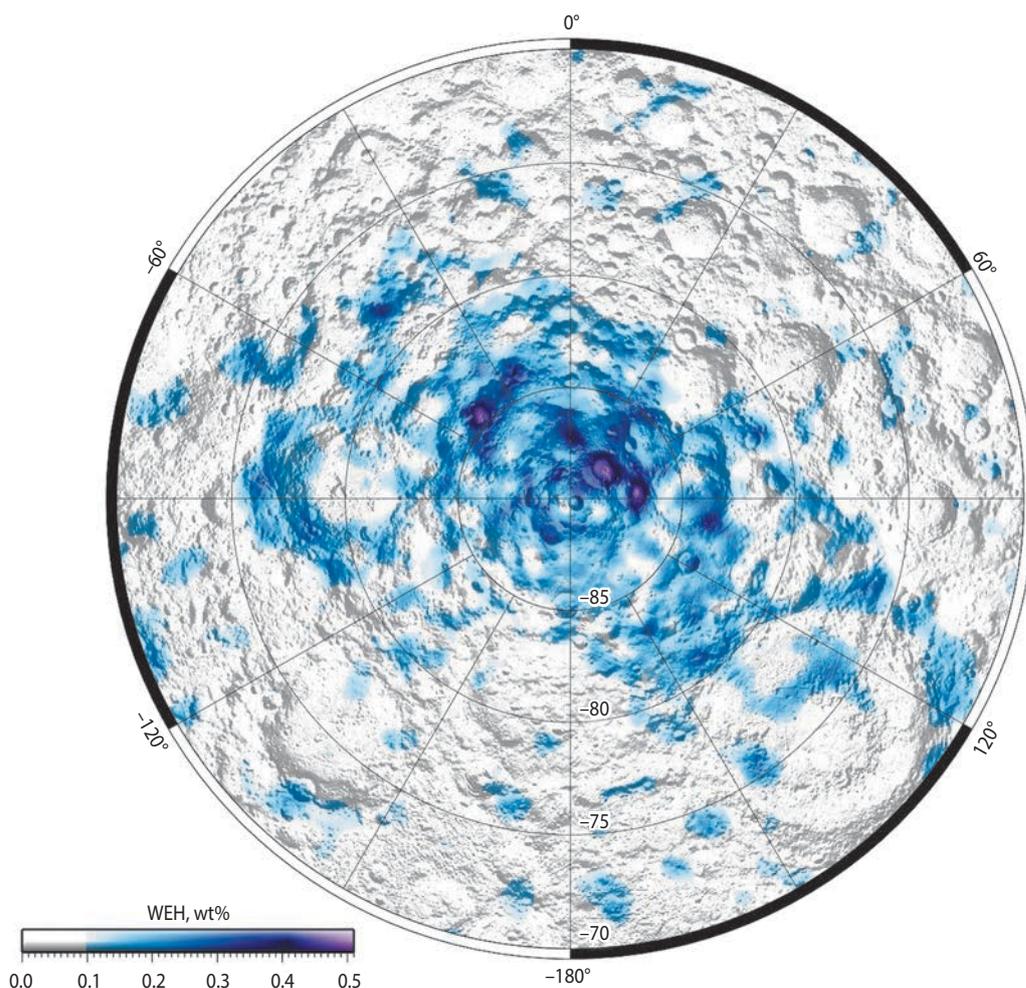


рисунок 10. Карта южной полярной области Луны по данным прибора ЛЕНД с 2009 по 2018 годы. Цветом показаны вариации массовой доли воды (WEN), которая соответствует наблюдаемому количеству водорода в грунте © Отдел ядерной планетологии ИКИ РАН

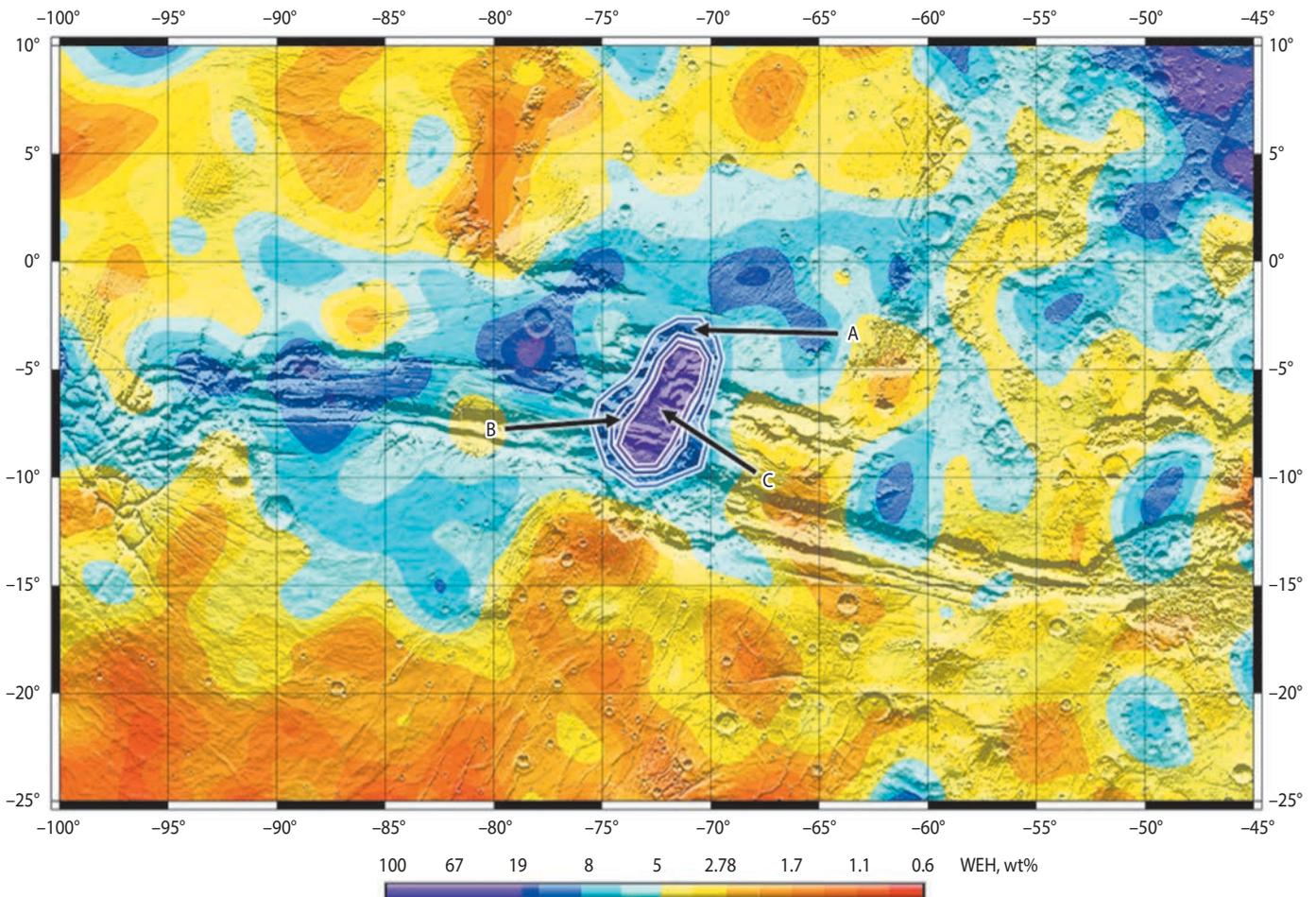


рисунок 11. Карта массовой доли воды на дне марсианского каньона Долина Маринера, построенная по данным измерений нейтронного излучения Марса нейтронным телескопом ФРЕНД на борту КА TRACE GAS ORBITER (Роскосмос/ЕКА).

Цветами обозначены оценки массовой доли воды в веществе поверхности до глубины около 1 м. Серым цветом показан рельеф по данным прибора MOLA на борту КА MARS GLOBAL SURVEYOR (НАСА). В центральной части каньона обнаружены три концентрические области с возрастающей к центру массовой долей воды в грунте: 40,3% в центральной области С, 12,4% в области В и 7% в пограничной области А. Площадь покрытой ледником поверхности составляет около 41 000 кв. км. Это более чем в два раза превышает площадь Ладожского озера – крупнейшего пресноводного водоема Европы. Изображение из статьи (Mitrofanov I. et al., 2022)

спутников «ПРОГНОЗ» – модернизированных «ИНТЕРБОЛ-1» и «Интербол-2», созданных НПО им. С.А. Лавочкина, и с участием субспутников «МАГИОН-4, -5» Чешской республики.

В целом запуски спутников серии «Прогноз» не только сделали более доступным изучение природных процессов, происходящих на Солнце, и действия механизма солнечно-земных связей, но и ещё более приблизили фундаментальную науку к решению проблематики повседневной жизни людей – появилась возможность сопоставлять и достоверно прогнозировать изменение биологических и технологических процессов на Земле под влиянием циклов солнечной активности.

Тем не менее, нерешенных вопросов остается все еще достаточно много. В последние годы в космос

были отправлены космические аппараты для изучения Солнца с близких расстояний — это *Parker Solar Probe* («Солнечный зонд Паркера», NASA) и *Solar Orbiter* (ESA). Активно развиваются многоспутниковые проекты, которые позволяют изучать тонкие структуры в плазме. К сожалению, в российской космической программе эти исследования занимают небольшую часть, и реализация этих планов намечена на период после 2030 года. В числе этих проектов, аппараты для которых разрабатываются в НПО Лавочкина, – космический аппарат «ИНТЕРГЕЛИО-ЗОНД» для исследования Солнца и многоспутниковый проект «РЕЗОНАНС».

Ещё одно интересное направление – изучение солнечно-земных связей для прогнозирования «космической погоды» – условий в околоземном про-

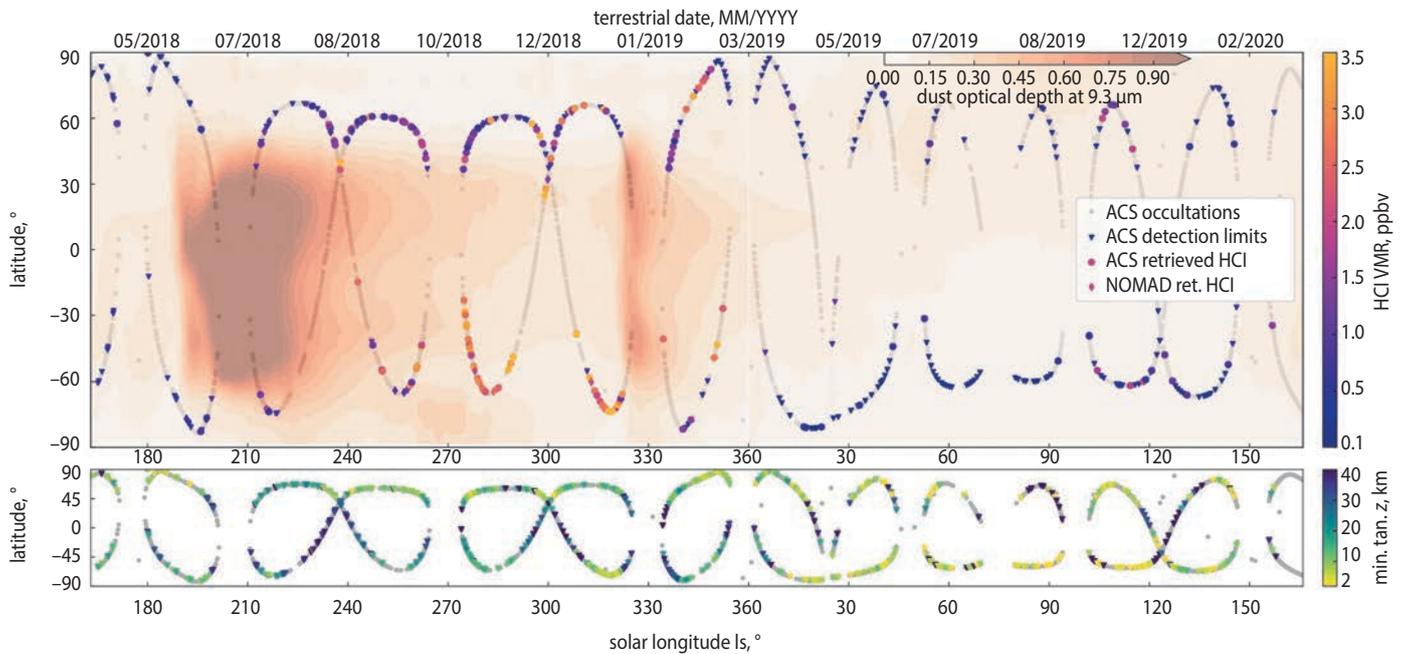


рисунок 12. Хлороводород на Марс в течение марсианского года по данным спектрометрического комплекса ACS на борту КА TGO (миссия «ЭКЗОМАРС-2016», Роскосмос/ЕКА). По горизонтали указано положение Марса на орбите (солнечная долгота), которое соответствует сезону; по вертикали – широта. Кружками обозначены результаты ACS, ромбами – NOMAD. Цвет кружков и ромбов соответствует количеству HCl в атмосфере (шкала справа, ppbv). Градациями коричневого цвета показана интенсивность глобальной пылевой бури (Korablev Oleg et al., 2021)

странстве, которые могут сказываться на функционировании технологических систем и, возможно, живых организмов на поверхности планеты. Основным источником вариаций «космической погоды» служит Солнце, его магнитная активность. При этом, если солнечный свет – поток фотонов – от Солнца достигает нашей планеты всего за 8 минут, то солнечный ветер – поток заряженных частиц – уже за 3-4 дня. Если знать заблаговременно, что происходит в солнечном ветре, то можно успешно прогнозировать изменения космической погоды и избегать аварий и техногенных катастроф, которые может вызывать солнечная активность.

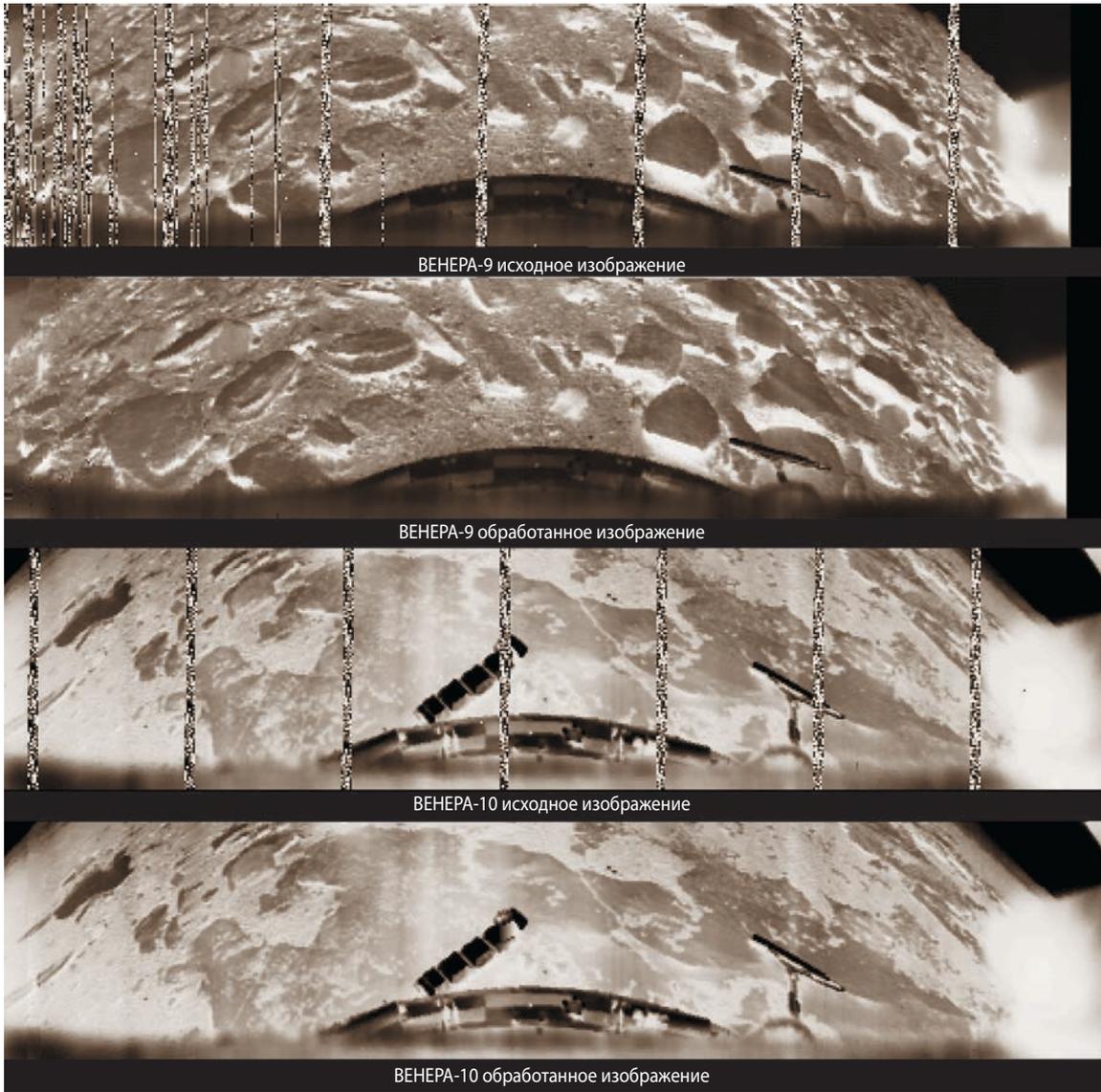
В 1990 – начале 2000-х годов ИКИ РАН совместно с НПО Лавочкина прорабатывал интересный проект. Его идея состояла в том, чтобы расположить на линии между Солнцем и Землей космический аппарат, снабженный солнечным парусом (рисунок 8). Вообще, в этой области, в так называемой точке Лагранжа L_1 , которая отстоит от Земли на 1,5 млн км, уже работает несколько космических аппаратов. Здесь силы притяжения Солнца и Земли приблизительно компенсируют друг друга, так что, по крайней мере, в теории космические аппараты могут оставаться в этой области неограниченно долго.

Если же снабдить космический аппарат солнечным парусом, то есть возможность «отодвинуть» точку L_1 ближе к Солнцу ещё на 1,5 млн км. Благодаря этому можно давать прогноз гелиогеофизической обстанов-

ки за 2 часа (по сравнению с 1 часом, который даёт использования аппарата в «стандартной» точке L_1). Эта идея, к сожалению, пока не была реализована, но, возможно, мы вернемся к ней «на следующем витке» исследований космоса.

Глобальной целью мировой космонавтики в текущем столетии представляется освоение Солнечной системы хотя бы в ближайших к Земле пределах. Цели этого освоения могут быть уже не только научными, но и прикладными, хотя говорить о производстве жизненно необходимых благ в космосе говорить, конечно, пока не приходится. Скорее, стоит задуматься о том, чтобы перенести наши лаборатории с Земли в космос. Собственно, это уже и делается – автоматические межпланетные станции и есть высокотехнологические автономные лаборатории для проведения всё более и более тонких исследований.

Сегодня и, видимо, ещё долгое время только два небесных тела претендуют на то, чтобы войти в сферу интересов человечества по освоению. Это Луна и Марс. Наш природный спутник уже посещали американские астронавты. Но их полёты стали промежуточным финишем относительно короткого забега. Если говорить о планомерном освоении, в частности, о создании лунной базы с экспедициями посещения или даже постоянным пребыванием человека, то первым этапом на этом пути должны стать тщательная разведка Луны, определение её наиболее интересных регионов, выработка задач освоения.



а



б

рисунок 13. Оригинальные панорамы поверхности Венеры, полученные космическими аппаратами «ВЕНЕРА-9, -10» (а) и «ВЕНЕРА-14» (б)

Для решения этих предварительных задач запланирован запуск серии автоматических станций. Кроме изучения самой Луны, в ходе её реализации предстоит отработать ключевые технологические моменты и будущих планетных экспедиций, прежде всего, марсианских: посадку, забор грунта, управление самоходным аппаратом на поверхности другой планеты, наконец, автоматическую доставку грунта других небесных тел на Землю.

Чтобы подчеркнуть преемственность российской и советской лунных программ, в названиях новых миссий будет продолжена нумерация, начатая советскими «ЛУНАМИ». Первый аппарат серии – посадочный «ЛУНА-25» (ОКР «ЛУНА-ГЛОБ») (рисунок 9). Затем к нашему спутнику отправятся лунная орбитальная станция «ЛУНА-26» и в перспективе второй посадочный аппарат «ЛУНА-27» с бурильной установкой.

Обе посадки запланированы в районе южного полюса Луны. Здесь, по данным многих экспериментов, и в первую очередь российского эксперимента ЛЕНД на борту космического аппарата LRO (NASA) были обнаружены признаки высокой концентрации водяного льда. Эти «оазисы» лунной вечной мерзлоты, возможно, были созданы кометами, бомбардировавшими Луну на протяжении миллионов лет, и поэтому хранят летопись событий, происходивших в Солнечной системе в это время. Они также могут быть ресурсами для будущей обитаемой лунной базы (рисунок 10).

Сейчас запуск первого аппарата этой серии запланирован на 2022 год.

Вторым шагом лунной программы станут доставка в автоматическом режиме новой пилотируемой капсулы в полярный район и следующим шагом – посадка космонавтов туда же.

Исследования, которые будут проводиться в рамках этой программы, – не повторение советских и американских. Современные планы лунных экспедиций нацелены, в первую очередь, на полярные области Луны, мало похожие на экваториальные районы, которые исследовались в 1960–70 годы.

Технологии, которые станут отрабатываться в ходе лунных миссий, будут также использоваться в последующих марсианских проектах. Марсианская программа России сегодня включает работу наших приборов на некоторых зарубежных космических аппаратах, а также совместный российско-европейский проект «ЭКЗОМАРС», судьба которого сейчас не определена.

Старт российско-европейскому сотрудничеству в рамках проекта «ЭКЗОМАРС» был дан

в 2013 году подписанием Соглашения о сотрудничестве в области исследования Марса и других тел Солнечной системы робототехническими средствами между Федеральным космическим агентством России (сейчас Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос») и Европейским космическим агентством (ESA) подписано 14 марта 2013 года. Это происходило после неудачного запуска автоматической межпланетной станции «ФОБОС-ГРУНТ», созданной в НПО Лавочкина, предназначенной для изучения спутника Марса Фобоса, однако не вышедшей даже на траекторию межпланетного перелёта. К тому времени у проекта «ЭКЗОМАРС» уже была своя достаточно длинная история, в которой принимала участие и NASA.

Основной задачей российско-европейского проекта «ЭКЗОМАРС» был поиск следов жизни на Красной планете. Проект предполагалось реализовать в два этапа. Первый – дистанционный, нацеленный на исследования малых составляющих атмосферы Марса с орбиты. В числе таких веществ рассматривается, в частности, метан. Второй этап – изучение поверхности Марса с помощью марсохода и комплекса научной аппаратуры на посадочном аппарате.

При этом российско-европейский вариант проекта «ЭКЗОМАРС» предполагал не только совместное проведение научных экспериментов, но и создание общей инфраструктуры, в частности, объединенного наземного комплекса приёма данных и управления межпланетными миссиями. Проектом предусматривался запуск с помощью российских ракет-носителей «Протон» двух космических аппаратов в 2016 и 2018 годах. Старт первого этапа состоялся 14 марта 2016 года с космодрома Байконур, и уже в октябре этого же года аппараты миссии «ЭКЗОМАРС-2016» успешно прибыли к Марсу. Орбитальный аппарат TGO вышел на рабочую орбиту весной 2018 года и с тех пор успешно работает. Два из четырёх научных приборов на нём созданы в России: это спектрометрический комплекс ACS и нейтронный телескоп FRENД (рисунок 11 и рисунок 12). Благодаря им были получены новые данные об атмосфере планеты и изучено распространение водяного льда в её грунте.

В ходе второго этапа планировалось с помощью разрабатываемой в НПО им. С.А. Лавочкина посадочной платформы доставить на поверхность планеты марсоход, созданный в ESA. Российские научные приборы должны были работать и на марсоходе, и на посадочной платформе. По разным причинам старт не состоялся в астрономические окна 2018 и 2020 годы (в последнем случае из-за пандемии COVID-19), и был перенесен на осень

2022 года. Но в 2022 году сотрудничество ESA и ГК «Роскосмос» было приостановлено в связи с изменением геополитической обстановки в мире. В настоящее время (середина апреля 2022 года) судьба обоих аппаратов: марсохода «Розалинд Франклин» и посадочной платформы «Казачок» – остаётся не определённой.

Ещё одно ближайшее к Земле и похожее на неё космическое тело – планета Венера. Успехи Советского Союза в её исследовании до сих пор не превзойдены – с 1980-х годов не было выполнено ни одной успешной посадки на планету, немногочисленные исследования проводились с орбиты планеты. Между тем, уже после чрезвычайно успешной советской венерианской программы в научной среде был задуман проект «ВЕНЕРА-Д», где буква Д означало «долгоживущая». В его рамках планировалось создать аппарат, который смог бы функционировать на поверхности планеты не несколько часов, а несколько дней. Это задача и была, и остаётся исключительно амбициозной. Условия на поверхности Венеры – очень высокие температура и давление задают очень высокие требования к комплектующим.

Проект не удалось реализовать сразу из-за финансово-экономических проблем. В 2000 и 2010-х годах к нему вернулись, в том числе активно прорабатывался вариант участия NASA в части элементов – например, долгоживущих напланетных станций или атмосферных аппаратов. В настоящее время проект «ВЕНЕРА-Д» прорабатывается в НПО Лавочкина, других инженерных и научных организациях России как национальный, с возможной датой запуска не ранее 2029 года.

О этом проекте подробнее скажем ниже. Сейчас же отметим, что интерес к Венере был существенно «подстегнут» работой международной группы ученых, которые с помощью наземных обсерваторий смогли зарегистрировать в её атмосфере полосы поглощения фосфина. Фосфин – газ, происхождение которого на Земле не очень понятно. Одна из гипотез – связь его с биологической активностью. Таким образом, фосфин в атмосферах других планет можно рассматривать как потенциальный биомаркер, и это делает Венеру «кандидатом» на потенциальную обитаемость.

Кажется странным, что в «адских» условиях Венеры может существовать жизнь, но вполне возможно, что живые микроорганизмы находятся в более комфортной зоне – на высоте облачного слоя, где температура гораздо ниже.

Второй вариант – фосфин может появляться в ходе вулканической активности на планете. Чтобы

проверить эти предположения, необходимы прямые наблюдения с помощью посадочных и атмосферных аппаратов – таким образом, советская программа изучения Венеры может продолжиться на новом этапе.

В последние годы обсуждаются и более «революционные» взгляды о возможности небелковых форм жизни и на самой поверхности Венеры. Российский учёный Л.В. Ксанфомалити (1935–2019) и его коллеги проанализировали фотопанорамы, полученные советскими посадочными аппаратами «ВЕНЕРА-9, -10, -13, -14», практически на всех (!) вблизи мест посадки обнаружены странные, медленно перемещающиеся структуры (*Ксанфомалити Л.В. и др., 2019*) (рисунок 13). Измеренная скорость ветра мала и заведомо недостаточна для объяснения таких перемещений. Температурный предел возможности углеродной жизни составляет 550–600°C. Выше него стабильные органические полимеры невозможны. Как известно, при повышении температуры резко ускоряются химические реакции и начинаются такие процессы, которые невозможны в нормальных условиях. На Земле азот пассивен. Но в условиях высоких давлений и температур химия азота может оказаться не менее разнообразной, чем химия углерода. Уже известен целый ряд азотных полимеров, обладающих стабильностью при температурах 500°C и выше. Венерианская жизнь может быть азотной, а не углеродной, как на Земле. Что касается отсутствия воды, то, помимо трёх основных агрегатных состояний вещества, при высоких давлениях и температурах может возникнуть четвертое – состояние сверхкритического флюида, обладающего свойствами как газа, так и жидкости, в частности, свойством растворять другие вещества. На роль универсального растворителя на Венере претендует двуокись углерода CO₂, которая там может существовать не только в виде углекислого газа, но и как сверхкритический флюид.

Идеи эти, безусловно спорные, и их подтверждение могут дать только непосредственные исследования с помощью современной высокоразрешающей фотоаппаратуры на новом посадочном аппарате российской миссии «ВЕНЕРА-Д».

Космический комплекс «ВЕНЕРА-Д» состоит из орбитального, посадочного и атмосферного модулей. Благодаря этому учёные смогут проводить измерения как с орбиты, так и с поверхности, а также непосредственно внутри атмосферы Венеры.

Орбитальный модуль со сроком активного существования не менее 8 лет должен выполнять научную программу с полярной высокоэллиптической

орбиты с периодом обращения 24 часа. На борту орбитального аппарата будет установлен сложный комплекс научных приборов для исследования венерианской атмосферы от поверхности до ионосферы. Так, мониторинговые камеры помогут проследить за динамическими трендами атмосферы Венеры и уточнить модель общей циркуляции. Синергия длинноволновой ИК-камеры, Фурье-спектрометра ИК-диапазона и радиометра позволит получить беспрецедентную трёхмерную картину тепловой структуры атмосферы. УФ- и ИК-спектрометры, работающие как в надир, так и по солнечным затмениям, смогут проанализировать облачный слой планеты, найти не открытые ранее малые газовые составляющие. Исследования Венеры с орбиты должны пролить свет на её климатическую историю, выяснить причины парниковой катастрофы и исчезновения воды, узнать, мог ли когда-то на Венере существовать океан жидкой воды.

Для научных измерений на поверхности Венеры на неё впервые со времён миссий «ВЕГА» планируется посадить аппарат. Конструктивно посадочный модуль напоминает советские посадочные аппараты, успешно достигавшие поверхности в своё время. Однако электроника и научная аппаратура в этот раз будут на десятилетия современнее и эффективнее. Ключевым механизмом посадочного модуля является грунтозаборное устройство, которое будет пробуривать поверхность на небольшую глубину, забирать образцы грунта и доставлять их к приборам-анализаторам. Панорамные камеры осуществят съёмку поверхности вокруг точки посадки. Во время спуска также планируется собирать метеоданные, анализировать состав атмосферы и аэрозоля облаков. Из-за суровых условий на поверхности Венеры посадочный модуль не сможет прожить долгое время. По достижении поверхности работа приборов и передача данных должны уложиться всего в два часа. Элементный и минералогический анализ образцов грунта современными спектрометрами необходим для понимания геологической истории планеты и ответа на вопрос о существовании древнего океана.

Для долговременных научных измерений атмосферы Венеры «изнутри» в состав космического комплекса «ВЕНЕРА-Д» будет добавлен атмосферный модуль, представляющий собой аэростатный зонд, способный нести до 30 кг полезной нагрузки. Высоты, на которых зонд может дрейфовать, составляют 54–58 км. Таким образом, всё время находясь внутри облачного слоя, научная аппаратура аэростата

сможет проводить непрерывный метеомониторинг и анализ свойств облачных частиц – аэрозоля.

Луна, Марс и Венера – три небесных тела так называемого «земного типа», в ближайшей окрестности Земли. Манит и более дальний космос – планеты-гиганты, малые тела Главного пояса астероидов, транснептуновые объекты... Изучение и освоение нашей Солнечной системы только начинается, и хочется надеяться, что несмотря на сложности и задержки к концу этого столетия аппараты, созданные в НПО Лавочкина, можно будет встретить на самых дальних рубежах нашего космического дома.

Статья использует ряд материалов статьи, написанной в соавторстве с Ю.И. Зайцевым (ИКИ РАН) к юбилею Г.Н. Бабакина (см. Зеленый Л.М., Зайцев Ю.И. Автоматы могут всё! // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 4. С. 16-22).

Выражаем благодарность Д.А. Горинову (ИКИ РАН) за помощь в подготовке статьи.

список литературы

Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований / Под общ. ред. Г.М. Полищука и К.М. Пичхадзе. М.: Из-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 660 с.

Зеленый Л.М., Зайцев Ю.И. Автоматы могут всё! // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 4. С. 16-22.

Ксанфомалити Л.В., Зелёный Л.М., Пармон В.Н., Снытников В.Н. Гипотетические признаки жизни на планете Венера: ревизия результатов телевизионных экспериментов 1975–1982 гг. // УФН. 2019. 189. С. 403-432.

Пичхадзе К.М., Шевалев И.Л. Страницы истории, вселяющие уверенность в день настоящий и определяющие степень успешности старта в будущее // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2012. № 4. С. 7-23.

Korablev Oleg et al. Transient HCl in the atmosphere of Mars // Science Advances. 2021. Vol. 7, Is. 7. DOI: 10.1126/sciadv.abe4386.

Mitrofanov I. et al. The evidence for unusually high hydrogen abundances in the central part of Valles Marineris on Mars // Icarus. 2022. Vol. 374. 114805.

Статья поступила в редакцию 12.04.2022

Статья после доработки 12.04.2022

Статья принята к публикации 12.04.2022

**КОСМИЧЕСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ «СПЕКТР-УФ» –
СОВМЕСТНЫЙ ПРОЕКТ
ИНСТИТУТА АСТРОНОМИИ РАН
И АО «НПО ЛАВОЧКИНА»**

**SPEKTR-UF SPACE ASTROPHYSICAL
OBSERVATORY IS A JOINT PROJECT
OF THE INSTITUTE OF ASTRONOMY OF
THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
AND LAVOCHKIN ASSOCIATION, JSC**



М.Е. Сачков¹,
*доктор физико-
математических наук,*
msachkov@inasan.ru;
M.E. Sachkov



Б.М. Шустов¹,
*доктор физико-
математических наук,*
bshustov@mail.ru;
B.M. Shustov



С.Г. Сичевский¹,
*кандидат физико-
математических наук,*
s.sichevskij@gmail.com;
S.G. Sichevskij



А.А. Моисеев²,
*кандидат технических
наук, moisheev@laspac.ru;*
A.A. Moiseev



С.В. Шостак²,
*кандидат технических
наук, shostak@laspac.ru;*
S.V. Shostak



А.Е. Шаханов²,
кандидат технических наук,
shakhanov@laspac.ru;
A.E. Shakhanov



¹ ФГБУН Институт астрономии РАН, Россия, Москва.
Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences,
Russia, Moscow.

² АО «НПО Лавочкина», Россия, Московская область,
г. Химки.
Lavochkin Association, Russia, Moscow region, Khimki.

Статья посвящена проекту «СПЕКТР-УФ», который развивается, используя имеющийся запас времени до его запуска. Изложен текущий статус проекта, при этом акцент сделан на появившихся изменениях в проекте.

Ключевые слова: Институт астрономии Российской академии наук (ИНАСАН); фундаментальные космические исследования; астрофизическая обсерватория; ультрафиолетовый и видимый диапазон спектра; электромагнитное излучение; астрофизические обсерватории; космическая обсерватория «АСТРОН»; «СПЕКТР-УФ»; космические аппараты; УФ-диапазон; УФ-спектроскопия; главное и вторичное зеркала телескопа Т-170М; приемники излучения; наземный научный комплекс; блок камер поля; блок спектрографов; ультрафиолетовый эшелльный спектрограф; комплекс научной аппаратуры.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.003

Институт астрономии Российской академии наук (ИНАСАН) является одним из ведущих научных институтов России. Важное направление исследований ИНАСАН, его «визитная карточка» – фундаментальные космические исследования с применением средств космического базирования для наблюдений астрономических объектов. Составной частью Федеральной космической программы России на 2016–2025 годы является опытно-конструкторская работа «Создание космического комплекса, включающего космическую астрофизическую обсерваторию для наблюдений астрономических объектов в ультрафиолетовом и видимом диапазоне спектра электромагнитного излучения (Всемирная космическая обсерватория «СПЕКТР-УФ»). Общий вид космического аппарата астрофизической обсерватории «СПЕКТР-УФ» представлен на рисунке 1.

Головная организация по проекту «СПЕКТР-УФ» – АО «НПО Лавочкина». ИНАСАН является головной научной организацией по проекту. Этот проект создания крупной многоцелевой космической обсерватории ультрафиолетового диапазона дополняет комплексную программу фундаментальных космических исследований, линейку которых успешной работой на орбите открыли космические аппараты «СПЕКТР-Р» и «СПЕКТР-РГ» (Шуришаков А.Е. и др., 2019).

Земная атмосфера поглощает практически все излучение небесных светил в диапазоне электромагнитного спектра с длиной волны короче 300 нм (рисунок 2).

The article presents an overview of the SPEKTR-UF project, which is outlines the current status of the project, with emphasis on the changes that have appeared in the project.

Key words: Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences (INASAN); fundamental space research; astrophysical observatory; ultraviolet and visible spectrum range; electromagnetic radiation; astrophysical observatories; ASTRON Space Observatory; SPEKTR-UF; spacecraft; UF-range; UV spectroscopy; T-170M telescope main and secondary mirrors; radiation receivers; ground-based scientific complex; field camera unit; spectrographs assembly; ultraviolet echelle spectrograph; payload.

Точное значение границы пропускания излучения атмосферой зависит от состояния озонового слоя и содержания в ней других молекул. Ультрафиолетовый (УФ) участок спектра (от 10 нм до 400 нм) доступен для наблюдения наземными оптическими инструментами только в диапазоне 300–400 нм, на более коротких длинах волн наблюдения возможны лишь с помощью заатмосферных приборов. Такие наблюдения дают важные уникальные научные данные, которые в настоящее время не могут быть получены другими известными в науке методами.

Внимание исследователей к этому диапазону объясняется широким спектром возможностей исследований астрономических объектов, которые открываются перед учёными при наблюдении Вселенной в УФ-диапазоне (Шустов Б.М. и др., 2014).

Впервые заатмосферные наблюдения в УФ-диапазоне были проведены 10 октября 1946 года, когда с борта ракеты А-4 («Фау-2») был получен УФ-спектр Солнца. Только спустя десятилетие, в 1955 году, были впервые проведены наблюдения ночного неба в УФ-диапазоне. Наблюдения методами ультрафиолетовой звёздной фотометрии (измерение блеска) и спектроскопии низкого разрешения были впервые осуществлены в 1957 и 1968 годах соответственно. Изучение звёзд в УФ-диапазоне по спектрам с высоким разрешением ведётся с 1972 года. Напомним, что спектральное разрешение – это величина, характеризующая способность отличать близкие по длине волны сигналы, равная отношению длины волны

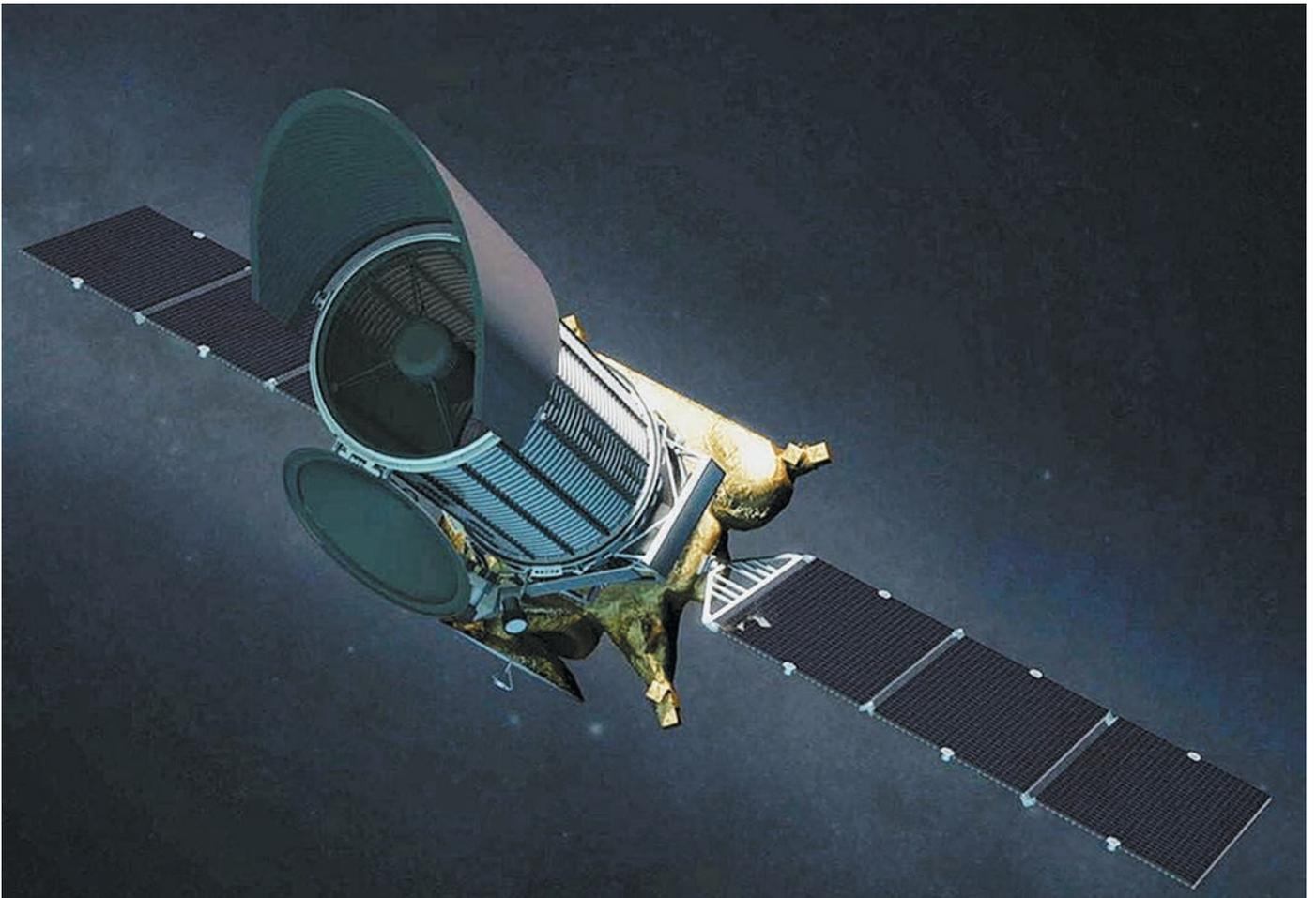


рисунок 1. Всемирная космическая обсерватория «СПЕКТР-УФ»

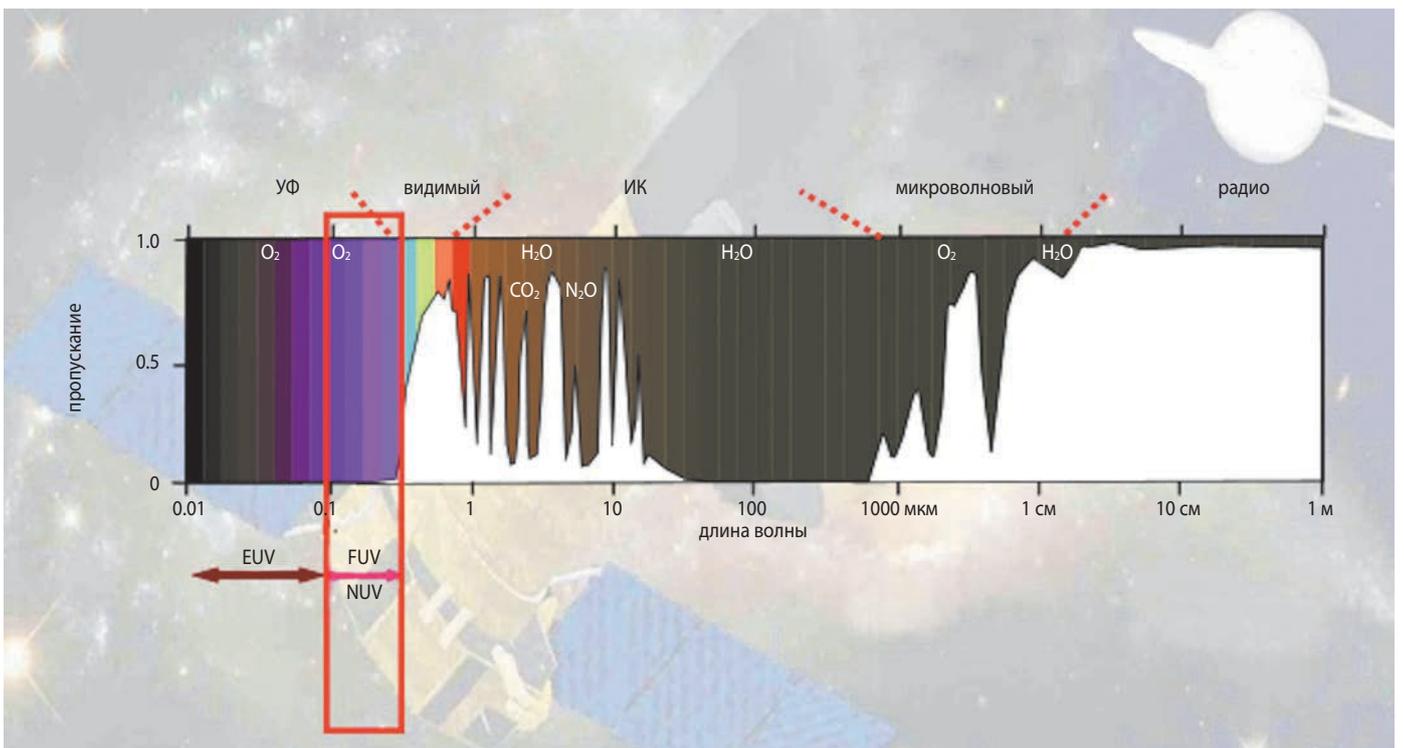


рисунок 2. Прозрачность земной атмосферы в зависимости от длины волны электромагнитного спектра



рисунок 3. Научный руководитель проектов «СПЕКТР-УФ» и «АСТРОН» А.А. Боярчук



рисунок 4. Технический руководитель проекта «АСТРОН» В.М. Ковтуненко

наблюдения к минимальной разнице длин волн, которую способен фиксировать прибор. С тех пор в мире проведено большое количество кратковременных космических экспериментов и запущено около двух десятков орбитальных космических аппаратов (обсерваторий) для долговременных наблюдений объектов в УФ-диапазоне. Даже знаменитый Космический телескоп имени Хаббла (КТХ) был спроектирован как инструмент прежде всего для наблюдений в УФ-спектре и является в настоящее время единственным инструментом для УФ-спектроскопии высокого разрешения (Мошшеев А.А., 2018).

Советские учёные и специалисты по космической технике также добились в УФ-исследованиях значительных достижений благодаря созданию космической обсерватории «АСТРОН» (научный руководитель академик А.А. Боярчук (рисунок 3), технический руководитель – член-корреспондент АН СССР В.М. Ковтуненко (рисунок 4), головная организация – НПО им. С.А. Лавочкина, ныне АО «НПО Лавочкина»).

В.М. Ковтуненко одним из первых увидел перспективы развития этого нового направления отечественной непилотируемой космонавтики. В конце 70-х – начале 80-х годов возникло творческое содружество коллективов НПО им С.А. Лавочкина и Крымской астрофизической обсерватории, возглавляемой в то

время академиком А.Б. Северным (Ефанов В.В., Мошшеев А.А., 2011).

С помощью спутника «АСТРОН» (1983–1989), на борту которого был установлен крупнейший в те годы космический телескоп «СПИКА» апертурой 80 см, получен ряд важных результатов: определен темп истечения вещества из звёзд различных спектральных классов; определено содержание химических элементов в атмосферах необычных (печулярных) звёзд классов Ар и Ам; выявлены свойства нестационарных звёзд (например, карликовых Новых), квазаров и галактик, галактических туманностей и диффузного ультрафиолетового излучения Галактики. Космической обсерватории «АСТРОН» (рисунок 5) удалось пронаблюдать такие объекты и явления, как водяная кома кометы Галлея (в 1985–1986 годах) и вспышка сверхновой в Большом Магеллановом облаке в конце февраля 1987 года (SN1987A) (Шустов Б.М. и др., 2017).

Успех обсерватории «АСТРОН», запущенной на орбиту в 1983 году, и запуск КТХ вдохновил отечественных учёных и специалистов на создание крупной обсерватории, сравнимой по возможностям с телескопом Хаббла. Проект получил название «СПЕКТР-УФ»; он стал одним из проектов российской серии «СПЕКТР» наряду с проектами «СПЕКТР-Р» (запущен в 2011 году, успешно завер-



рисунок 5. Космическая обсерватория «АСТРОН»

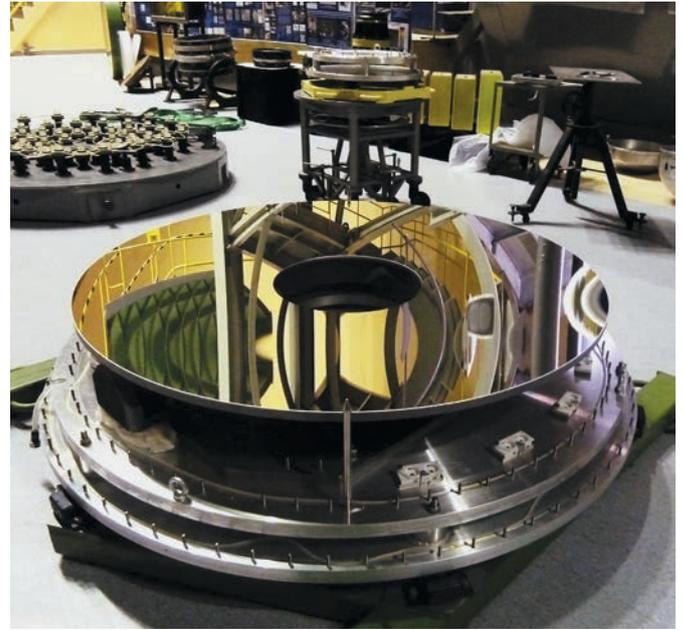


рисунок 7. Главное зеркало телескопа Т-170М



рисунок 6. Сборка телескопа Т-170М в цехе НПОЛ

шил работу в 2018 году) и «СПЕКТР-РГ» (успешно запущен в 2019 году и даёт уникальные результаты) (Шустов Б.М. и др., 2020).

Целью проекта «СПЕКТР-УФ» является создание космической обсерватории, предназначенной для проведения наблюдений в вакуумном и ближнем УФ-диапазонах электромагнитного спектра (115–310 нм). Основное назначение проекта – детальное исследование астрономических объектов методами УФ-спектроскопии и построение высококачественных изображений на сравнительно малом поле зрения (до 10 угловых минут).

Идея проекта «СПЕКТР-УФ» возникла еще в конце 80-х годов прошлого века, однако, вследствие огромных сложностей в стране периода 90-х начала 2000-х, проект жил, что называется, «под капельницей». Тем не менее, мы продвигали проект, надеясь на лучшее. Промышленное финансирование работ началось только с 2010 года (с перерывом в 2015 году). Как уже отмечалось выше, головной организацией по космическому комплексу «СПЕКТР-УФ» в целом является АО «НПО Лавочкина» (рисунок 6), головной научной организацией – ИНАСАН.

Работы над проектом ведутся в большой кооперации, включающей помимо АО «НПО Лавочкина» и ИНАСАН, также ИКИ РАН, ФИАН, САО РАН, предприятия госкорпораций «Росатом» и «Роскосмос» и ряд других организаций. Главное и вторичное зеркала телескопа Т-170М изготавливаются на Лыткаринском заводе оптического стекла (рисунок 7).

Основные возможности «СПЕКТР-УФ» заключаются в спектроскопии слабых источников в УФ-диапазоне и построении изображений в УФ и оптическом



рисунок 8. Фотоприёмные устройства на основе охлаждаемой ПЗС (слева) и МКП (справа)

участках. При этом должны достигаться: высокое спектральное разрешение (~ 55000), очень высокое угловое разрешение (лучше $0,1$ угловой секунды), а для изучения слабых источников – высокая проникающая способность. Выбор параметров телескопа Т-170М (диаметр главного зеркала – 170 см, фокальное отношение – 10) обеспечивает эти требования. По всей видимости, проект будет работать на орбите уже после завершения успешной работы КТХ (обсуждается 2024 год как срок окончания работы), т.е. в период 2025–2030 годов это будет единственный и поэтому крайне востребованный крупный УФ-телескоп. Согласно планам зарубежных космических агентств, следующие крупные УФ-телескопы будут запущены не ранее начала 2030-х.

Обсерватория «СПЕКТР-УФ» многоцелевая. Главные направления научных исследований: поиск скрытого барионного (обычного) вещества во Вселенной (пока наблюдается лишь около 50% вещества); исследование энергетичных (в частности, взрывных) процессов в галактиках, звёздах и компактных объектах; исследование роли УФ-излучения в проблеме происхождения жизни во Вселенной. УФ-спектроскопия весьма перспективна для исследования атмосфер экзопланет. Напомним, что именно применение УФ-спектроскопии высокого разрешения с помощью спектрографа STIS (КТХ) впервые привело к открытию атмосферы экзопланеты HD 209458b. Наблюдения экзопланет и детальное изучение их атмосфер поможет понять процессы формирования планет и их атмосфер и дальнейшую эволюцию этих систем. В настоящее время основным инструментом для таких исследований является Космический телескоп имени Хаббла, начавший свою работу в 1990 году и всё ещё дающий большой поток наблюдательных данных во всех областях астрономии, не ограничи-

ваясь только ультрафиолетом. «СПЕКТР-УФ» по своим характеристикам соответствует КТХ, но, в отличие от него всё наблюдательное время «СПЕКТР-УФ» посвящено УФ-астрономии (Shustov B. et al., 2011; Shustov B. et al., 2014; Shustov B. et al., 2018). Кроме того, проект «СПЕКТР-УФ» будет работать на геосинхронной орбите, практически над радиационными поясами Земли и земной геосферой, которая сама является источником УФ-излучения и значительно затрудняет проведение таких исследований. В указанный период «СПЕКТР-УФ» будет, по сути, единственным крупным орбитальным телескопом, работающим в УФ-области спектра. Экзопланетные исследования занимают значительную часть базовой программы «СПЕКТР-УФ» (Malkov O. et al., 2011; Boyarchuk A.A. et al., 2016). Условно их можно сгруппировать по четырём направлениям:

1. Обнаружение планет.
2. Исследование формирования планет в протопланетных дисках.
3. Определение физических характеристик планет.
4. Определение химического состава планетных атмосфер, включая биомаркеры.

Аппаратура миссии «СПЕКТР-УФ» идеально подходит для решения последних трёх задач. Кроме того, сами экзопланеты являются хорошим инструментом для исследования свойств родительских звёзд, и в данном направлении с помощью «СПЕКТР-УФ» также ожидаются прорывные результаты.

«СПЕКТР-УФ» имеет в два раза меньшую площадь главной апертуры телескопа, чем КТХ, тем не менее использование современных приемников излучения (рисунок 8), дифракционное качество оптики и оптимальная орбита позволяют по эффективности превзойти КТХ.

С помощью обсерватории «СПЕКТР-УФ» будут проведены следующие уникальные научные эксперименты:

1. Проведение спектральных наблюдений точечных объектов в диапазоне 110–320 нм с высоким разрешением (разрешающая сила $R > 50000$). Такая разрешающая сила позволяет проводить детальный анализ физических и химических свойств звезд и других точечных источников. Эти функции выполняются два канала высокого разрешения блока спектрографов: ВУФЭС (вакуумный ультрафиолетовый эшелюнный спектрограф для спектроскопии высокого разрешения ($R \approx 50000$) в диапазоне длин волн 115–176 нм) и УФЭС (ультрафиолетовый эшелюнный спектрограф) для спектроскопии высокого разрешения ($R \approx 50000$) в диапазоне длин волн 174–310 нм).

2. Проведение спектральных наблюдений низкого разрешения ($R \approx 1000$) с высокой (длинной) щелью в диапазоне длин волн 115–305 нм для наблюдения протяженных, а также самых далеких (тусклых) объектов Вселенной реализуется третьим каналом блока спектрографов СДЩ (спектрограф с длинной щелью).

3. Построение прямых изображений с высоким пространственным разрешением в УФ-диапазоне с возможно большим полем зрения для получения знаний о структуре исследуемого космического объекта, а также для проведения многоцветной фотометрии как протяженных, так и точечных источников. Эти функции выполняет двухканальный блок камер поля: канал дальнего УФ в диапазоне 115–175 нм и канал ближнего УФ в диапазоне 185–310 нм. Поле зрения обоих каналов 70×75 угл. с, пространственное разрешение 0.15 угл. с.

4. Эксперимент «Конус-УФ» предназначен для исследования космических гамма-всплесков и активности мягких гамма-репитеров в энергетическом диапазоне от 10 кэВ до 10 МэВ. Научная аппаратура «Конус-УФ» разработана в Физико-техническом институте им. Иоффе.

В настоящее время решены все принципиальные технические вопросы создания составных частей комплекса научной аппаратуры «СПЕКТР-УФ». Серьезные санкционные ограничения, с которыми Россия столкнулась в последнее время, конечно, осложняют работу по проекту «СПЕКТР-УФ». Однако, по оценкам специалистов, объем проведенных по проекту закупок позволяет надеяться, что график создания обсерватории не претерпит существенных изменений. Научный комитет обсерватории «СПЕКТР-УФ», включающий как российских, так и зарубежных ученых – лидеров УФ-исследований, приступил к формированию Программы научных исследований. Научные планы проекта «СПЕКТР-УФ» весьма амбициозны. Нас ожидает много захватываю-

щих открытий, которые будут сделаны с её помощью. Команды «СПЕКТР-УФ» в АО «НПО Лавочкина» и в ИНАСАН работают по проекту очень интенсивно, слаженно и ответственно.

список литературы

Ефанов В.В., Мошнеев А.А. Вячеслав Михайлович Ковтуненко – учёный и конструктор космической техники // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2011. № 3. С. 3-13.

Мошнеев А.А. Создание космических сегментов астрофизических обсерваторий // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. № 2 С. 24-34.

Ширшаков А.Е., Карчаев Х.Ж., Мошнеев А.А., Лоханов И.В. На шаг впереди (к 80-летию ОКБ НПО имени С.А. Лавочкина) // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2019. № 2. С. 3-18.

Шустов Б.М. и др. Открывая ультрафиолетовое окно во Вселенную: из опыта научно-технического сотрудничества НПО имени С.А. Лавочкина и ИНАСАН // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 2. С. 38-43.

Шустов Б.М. и др. Проект «СПЕКТР-УФ»: новые штрихи // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2020. № 2. С. 22-33.

Шустов Б.М. и др. Проектная концепция космического аппарата «СПЕКТР-УФ» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 5. С. 4-15.

Boyarchuk A.A., Shustov B.M., Savanov I.S., Sachkov M.E. et al. Scientific problems addressed by the SPEKTR-UV space project (world space Observatory-Ultraviolet) // Astronomy Reports. 2016. Vol. 60, № 1. P. 1-42. DOI: 10.1134/S1063772916010017.

Malkov O., Sachkov M., Shustov B., Kaigorodov P. et al. Scientific program construction principles and time allocation scheme for the World Space Observatory Ultraviolet mission // Astrophysics and Space Science. 2011. 335. P. 323-327.

Shustov B., Gómez de Castro A.I., Sachkov M. et al. The World Space Observatory Ultraviolet (WSO-UV), as a bridge to future UV astronomy // Astrophysics and Space Science. 2018. Vol. 363. P. 62. DOI: 10.1007/s10509-018-3280-7.

Shustov B., Gómez de Castro A.I., Sachkov M. et al. WSO-UV progress and expectations // Astrophysics and Space Science, 2014. DOI: 10.1007/s10509-014-2119-0.

Shustov B., Sachkov M., Gómez de Castro A.I. et al. World space observatory-ultraviolet among UV missions of the coming years // Astrophysics and Space Science. 2011. 335. P. 273-282.

Статья поступила в редакцию 04.04.2022

Статья после доработки 04.04.2022

Статья принята к публикации 04.04.2022

**УСПЕШНОЕ
ТВОРЧЕСКОЕ
СОТРУДНИЧЕСТВО
НПО ИМ. С.А. ЛАВОЧКИНА
И ИПМ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН
В ОСВОЕНИИ КОСМОСА**

**FRUITFUL COOPERATION
IN SPACE EXPLORATION BETWEEN
LAVOCHKIN ASSOCIATION, JSC AND
KELDYSH INSTITUTE OF APPLIED
MATHEMATICS OF THE RUSSIAN
ACADEMY OF SCIENCES**



Г.К. Боровин¹,
*доктор физико-
математических
наук,*
borovin@keldysh.ru;
G.K. Borovin



Ю.Ф. Голубев¹,
*профессор,
доктор физико-
математических
наук,*
golubev@keldysh.ru;
Yu.F. Golubev



А.В. Грушевский¹,
*доктор физико-
математических
наук,*
*alexgrush@
rambler.ru;*
A.V. Grushevskii



Г.С. Заславский¹,
*кандидат физико-
математических
наук,*
zaslav@kiam1.rssi.ru;
G.S. Zaslavskiy



С.М. Лавренов¹,
*доцент,
кандидат
технических наук,*
lasemi@mail.ru;
S.M. Lavrenov



В.А. Степаньянц¹,
*кандидат физико-
математических
наук,*
*vic-stepan@
rambler.ru;*
V.A. Stepanyants



А.Г. Тучин¹,
*доктор физико-
математических
наук,*
tag@kiam1.rssi.ru;
A.G. Tuchin



Д.А. Тучин¹,
*кандидат физико-
математических
наук,*
den@kiam1.rssi.ru;
D.A. Tuchin



¹ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Россия, Москва.

Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russia, Moscow.

Статья написана к 85-летию акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина». Приводится обзор основных результатов сотрудничества НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН в области исследования Луны, Солнечной системы и Вселенной. Представлены выполненные, текущие и перспективные космические проекты.

Ключевые слова: АО «НПО Лавочкина»; ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; космический аппарат; автоматическая межпланетная станция; Луна; Венера; Марс; Юпитер; Фобос; комета Галлея; навигация; баллистика.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.004

ВВЕДЕНИЕ

Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 85-летие которого мы отмечаем, внесло большой вклад в развитие отечественной космонавтики.

С годами многие исторические события тускнеют и обретают черты ординарности, в то время когда иные аспекты высвечиваются из повседневности и обретают знаковые формы. В истории развития современной космонавтики эта тенденция не является экстраординарной, а, наоборот, характерна для нее. 85-летие создания одного из флагманов отечественной ракетно-космической промышленности НПО им. С.А. Лавочкина – повод высветить и описать подобные тенденции, пронизывающие и, собственно, организующие современную историю естествознания и техники. Летопись прорыва человечества в Космос немислима без легендарных страниц зарождения и развития Отчественной космонавтики. И здесь особо надо выделить совместные работы всемирно известных организаций: Акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (далее – НПО им. С.А. Лавочкина) и Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (далее – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН) по созданию космических аппаратов (в том числе межпланетных) и их баллистико-навигационному обеспечению (Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018).

Однако известность пришла не сразу. Как писал член-корреспондент РАН В.В. Белецкий, «слава ИПМ им. М.В. Келдыша РАН долгое время носила сугубо локальный характер, так как деятельность Института была жёстко засекречена и об этой деятельности, даже о самом существовании Института, знали толь-

The article was written for the 85th anniversary of Lavochkin association. An overview of the main results of cooperation between Lavochkin association and Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS in the field of research of the Moon, the Solar system and the Universe. Completed, current and prospective space projects are presented.

Keywords: Lavochkin association; Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences; spacecraft; automatic interplanetary station; Moon; Venus; Mars; Jupiter; Phobos; Halley's comet; navigation; ballistics.

ко такие же секретные учреждения, с которыми Институт сотрудничал. С течением времени, особенно в эпоху прорыва человечества в космос, деятельность Института стала носить всё более открытый характер, и сейчас уже широко известна та роль, какую Институт играл в создании ядерного щита Родины, разработке средств доставки ядерного оружия и, особенно, в космической эпопее» (Белецкий В.В., 2004).

НПО им. С.А. Лавочкина ведёт свое начало от авиационного завода, созданного в подмосковных Химках в 1937 году, прославившегося разработкой и созданием истребителей Ла-5, Ла-7, ставших одним из основных истребителей, обеспечивших победу в Великой Отечественной войне. Затем были работы по ракетной тематике: сверхзвуковая крылатая ракета «Буря» – первая в мире крылатая ракета, которая превзошла по своим характеристикам стратегическую крылатую ракету North American SM-64 Navaho (США) и успешно выполнила 11 испытательных полётов; зенитные управляемые ракеты для ПВО Москвы; зенитно-ракетный комплекс «Даль» и др.

С 1965 года НПО им. С.А. Лавочкина было переориентировано на космическую тематику. Эта тематика была передана вместе с заделом из ОКБ, возглавляемого С.П. Королёвым, для работы по лунно-планетным исследованиям с помощью автоматических космических аппаратов (КА). Прерогативой НПО им. С.А. Лавочкина стало также создание космических систем связи, разгонных блоков, спутников. Георгий Николаевич Бабакин был назначен Главным конструктором предприятия.

В том же 1965 году по предложению С.П. Королёва и М.В. Келдыша в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН в рамках пятого отдела, руководимого Д.Е. Охочимским, создан Баллистический центр

ИПМ им. М.В. Келдыша (БЦ ИПМ). Долгие годы БЦ ИПМ руководил Э.Л. Аким. В области исследований Луны, Солнечной системы и Вселенной началось многолетнее плодотворное сотрудничество НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. На БЦ ИПМ были возложены работы по проектированию и баллистико-навигационному обеспечению (БНО) полётов пилотируемых кораблей и автоматических космических аппаратов научного и народнохозяйственного назначения. БЦ ИПМ вместе с баллистическими центрами Министерства обороны и Министерства общего машиностроения успешно обеспечивал полёты отечественных КА.

Расширение масштабов освоения космоса потребовало решения новейших высокотехнологических проблем и образования эффективных научных коопераций, подобные решения реализующих. Именно таковым стал научно-технический и творческий союз НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

В НПО им. С.А. Лавочкина были созданы автоматические КА для изучения Луны, Венеры, Марса и астрофизических исследований. Созданные в НПО им. С.А. Лавочкина космические аппараты впервые в мире осуществили мягкую посадку на Луну, произвели автоматический забор лунного грунта и доставили его на Землю. Самоходные аппараты «ЛУНОХОД-1, -2», управляемые с Земли, совершили движение по поверхности Луны. Впервые была осуществлена посадка на поверхности Марса и Венеры, получено множество научной информации и фотоснимков этих планет. Был успешно реализован проект полёта к комете Галлея. Созданные в НПО им. С.А. Лавочкина автоматические КА по эффективности и тактико-техническим характеристикам опережали своё время и обеспечили нашей стране мировые приоритеты в космических исследованиях. Во всех этих работах наши организации работали бок о бок. Мы вместе разрабатывали и осуществляли сложнейшие космические проекты, результаты которых вошли в сокровищницу отечественной и мировой науки и техники, самого хода всемирного естествознания.

Баллистический центр ИПМ им. М.В. Келдыша РАН выполнил все возложенные на него задачи по обеспечению полётов КА серии «ЛУНА». Последний полёт этой серии совершил КА «ЛУНА-24» в августе 1976 года. Коллектив ИПМ им. М.В. Келдыша РАН участвовал во всех проектно-баллистических работах, а также в работах по баллистико-навигационному обеспечению полётов КА, созданных в НПО им. С.А. Лавочкина для исследования Солнечной системы (Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018; Ивашкин В.В., 2010; Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М., Аким Э.Л., Сарычев В.А., 2010). Наряду с указанными работами

НПО им. С.А. Лавочкина с самого начала своей космической деятельности и по настоящее время выполняет большой объём работ по текущим и перспективным космическим проектам. За малым исключением, во всех этих работах ИПМ им. М.В. Келдыша РАН осуществляет баллистическое проектирование, подготовку, обеспечивает реализацию и БНО полётов КА, осуществляет их анализ.

Представим наиболее значимые состоявшиеся проекты легендарного союза по исследованию космического пространства.

Отечественные космические миссии традиционно доминировали в исследованиях Венеры. Автоматическая межпланетная станция (АМС) «ВЕНЕРА-3» первой достигла поверхности Венеры 1 марта 1966 года. В полётах АМС к Венере в 1978 и 1981 году «ВЕНЕРА-11» – «ВЕНЕРА-14» была успешно осуществлена пролётно-десантная схема. В разработке и реализации этой схемы полёта активное участие принимали сотрудники ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Мягкая посадка спускаемых аппаратов АМС «ВЕНЕРА-11» и «ВЕНЕРА-12» была реализована в декабре 1978 года, а АМС «ВЕНЕРА-13» и «ВЕНЕРА-14» – в марте 1982 года. Искусственные спутники «ВЕНЕРА-15» и «ВЕНЕРА-16» провели уникальный эксперимент по радиокартографированию Венеры. На его основе построены качественные изображения планеты и её рельефа, создан первый атлас Венеры (1989) (Котельников В.А., Барсуков В.Л., Аким Э.Л. и др., 1989). NASA в 1990–1994 годы составила гипсометрическую карту 98% поверхности планеты. Наряду с данными радиовысотометра КА «МАГЕЛЛАН» и КА «ПИОНЕР-ВЕНЕРА-1» были использованы данные отечественных КА «ВЕНЕРА-15» и «ВЕНЕРА-16». Эта карта используется при выборе мест для посадки современных проектируемых миссий не вслепую, а на местность с известной геологической структурой (международный проект «Венера-Д») (Иванов М.А., Засова Л.В., Герасимов М.В., Кораблев О.И. и др., 2017). Следует также отметить полёты наших КА «ВЕГА-1, -2» к комете Галлея с доставкой в атмосферу Венеры аэростатных зондов и выведением европейской межпланетной станции «ДЖОТТО» к ядру этой кометы (международный проект «ЛОЦМАН»).

Полёты КА к планетам Солнечной системы предъявили высокие требования к точности знания координат планет. Поэтому принципиальное значение имели работы ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по уточнению эфемерид планет, опирающиеся на радиолокацию планет и высокоточные радиотехнические наблюдения за движением их искусственных спутников. По данным траекторных измерений всех советских искусственных спутников Луны была построена модель глобальной структуры её гравитационного

поля. В интересах проекта картографирования Венеры было выполнено первое определение динамического сжатия планеты по наблюдениям за движением КА «ВЕНЕРА-9» и «ВЕНЕРА-10».

В 80-х годах в НПО им. С.А. Лавочкина был создан КА нового поколения (*Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований*, 2010). Первыми целями аппаратов этой серии стали Марс и его спутник Фобос. Погрешность знания орбиты Фобоса была настолько большой, что не позволяла непосредственно выполнить сближение с ним. Поэтому была разработана схема маневрирования, обеспечивающая постепенное сближение КА и Фобоса. В связи с этим в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН были разработаны специальные методы и соответствующие алгоритмы расчёта оценки безопасного полёта искусственного спутника планеты относительно её естественного спутника (*Заславский Г.С.*, 1991; *Байцур С.Г.*, *Заславский Г.С.*, *Плотникова О.В.*, *Пухликов М.С.*, 1991). К сожалению, полностью выполнить намеченную программу исследований не удалось. КА «ФОБОС-1» прекратил существование на траектории перелёта, а КА «ФОБОС-2» – при переходе на вторую квазисинхронную орбиту. Однако полёт КА «ФОБОС-2» дал уникальные научные результаты (*Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований*, 2010). Навигационные наблюдения Фобоса позволили уточнить параметры его орбиты (*Навигация космических аппаратов при исследовании дальнего космоса*, 2016).

Для реализации проекта «ФОБОС-ГРУНТ» требовалось априорное знание параметров орбиты Фобоса. В ИПМ им. М.В. Келдыша построена модель движения Фобоса с использованием всех имеющихся наблюдений Фобоса (*Шишов В.А.*, 2008). При построении модели использованы: оптические наземные измерения, начиная с 1977 года; бортовые телевизионные измерения Фобоса КА «MARINER-9» (1971–1972), «VIKING» (1976–1978), «ФОБОС-2» (1989), «MARS EXPRESS» (2005); измерения лазерного дальномера с борта «MARS GLOBAL SURVEYOR» (1998); измерения углового расстояния между центром Фобоса и центром солнечного диска при наблюдениях с находящихся на поверхности Марса американских роверов «SPIRIT» и «OPPORTUNITY» (2004).

Кроме решения задач космических проектов, необходимо отметить взаимодействие ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и НПО им. С.А. Лавочкина в подготовке научных кадров. Несколько сотрудников НПО им. С.А. Лавочкина получили дипломы об окончании аспирантуры ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и готовятся к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

1. Современные космические проекты

Сегодня ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и НПО им. С.А. Лавочкина продолжают свою плодотворную деятельность в отечественных и международных проектах. Это приводит к уникальным решениям баллистико-навигационных проблем.

18 июля 2011 года с космодрома Байконур был выведен на расчётную орбиту КА «СПЕКТР-Р» с радиотелескопом «РАДИОАСТРОН», который получил международное название: космическая астрофизическая обсерватория «РАДИОАСТРОН». КА был запущен на орбиту с высотой апоцентра 300 тыс. км. Космическая астрофизическая обсерватория «СПЕКТР-Р» совместно с земными радиотелескопами создала радиоинтерферометр со сверхбольшой базой и была предназначена для проведения фундаментальных астрофизических исследований в радиодиапазоне электромагнитного спектра. По результатам полёта удалось получить ряд фундаментальных результатов в области изучения Вселенной. Эволюция орбиты КА «СПЕКТР-Р» позволяла в ходе полёта вести наблюдение участков небесной сферы в различных режимах для решения научных задач проекта. Управление космическим комплексом «СПЕКТР-Р» осуществляла главная оперативная группа управления, созданная на базе НПО им. С.А. Лавочкина, с участием специалистов организаций-разработчиков бортовых систем, с привлечением наземного сегмента управления и наземного научного комплекса. Расчёт целеуказаний, обработку результатов измерений параметров орбиты, реконструкцию и прогнозирование орбиты КА, расчёт баллистических параметров коррекции траектории полёта КА и мониторинг степени затенения КА Землёй и Луной обеспечивал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (*Заславский Г.С.*, *Степаньянц В.А.*, *Тучин А.Г.*, *Погодин А.В.* и др., 2014). Наряду с работами по оперативному БНО управления полётом КА «Спектр-Р» БЦ ИПМ в тесном сотрудничестве с Астрокосмическим центром ФИАН участвовал в реализации научной программы проекта – проводил исследования по выбору траектории дальнейшего полёта КА и высокоточное определение параметров движения аппарата, необходимое для обработки научной информации (*Заславский Г.С.*, *Тучин А.Г.*, *Захваткин М.В.*, *Шишов В.А.* и др., 2016; *Заславский Г.С.*, *Захваткин М.В.*, *Кардашев Н.С.*, *Ковалев Ю.Ю.* и др., 2017).

Совместная работа специалистов НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН в области баллистики и навигации обеспечила выполнение радиоинтерферометрических наблюдений со сверхдлинными базами. КА «СПЕКТР-Р» находился на орбите 7.5 лет (в полтора раза превысив плановый срок активного существования). За это время была получена уникальная научная информация.

По программе «Малые космические аппараты для фундаментальных космических исследований» было запущено два космических аппарата: «МКА-ФКИ (ПН1)» и «МКА-ФКИ (ПН2)», разработанных НПО им. С.А. Лавочкина (*Гордиенко Е.С., Ильин И.С., Мжельский П.В., Михайлов Е.А. и др., 2016*). Запуск «МКА-ФКИ (ПН1)» осуществлен с космодрома Байконур 22 июля 2012 года «МКА-ФКИ (ПН1)» был выведен на солнечно-синхронную орбиту с высотой апоцентра – 810.6 км и высотой перицентра – 795.6 км. Научная аппаратура КА «ЗОНД-ПП», разработанная в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, предназначалась для пассивного радиометрического зондирования Земли в дециметровом диапазоне электромагнитных волн. Анализ данных «ЗОНД-ПП» позволил сделать вывод о перспективности создания малых космических аппаратов.

«МКА-ФКИ (ПН2)» был запущен с космодрома Байконур 8 июня 2014 года и выведен на солнечно-синхронную орбиту с высотой апоцентра – 817.8 км и высотой перицентра – 625.7 км. Научная аппаратура «РЭЛЕК», установленная на борту «МКА-ФКИ (ПН2)», была предназначена для изучения высотных электрических разрядов и атмосферных явлений. Научная аппаратура разработана Научно-исследовательским институтом ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ совместно с Физическим институтом им. П.Н. Лебедева и Научно-исследовательской лабораторией аэрокосмической техники.

Центр управления полётом малых космических аппаратов находился в НПО им. С.А. Лавочкина, а Баллистический центр – в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Баллистический центр выполнял функции навигационного обеспечения управления полётом: обработка наземных и бортовых траекторных измерений, определение и прогнозирование параметров движения космического аппарата, расчёт целеуказаний для командно-измерительного пункта в Медвежьих Озёрах и расчёт опасных сближений.

В Баллистическом центре рассчитывались опасные сближения КА с космическими объектами, орбиты которых были доступны по каналам Интернет. Ежедневно выполнялся прогноз опасных сближений на трое суток с публикацией бюллетеней, которые содержали минимальное расстояние сближения, начальные условия и ковариационную матрицу параметров движения космического объекта.

Оценка качества определения орбиты показала, что погрешность её определения в прогнозе на одни сутки составляет около 5 м в радиальном направлении и направлении, ортогональном плоскости орбиты, а в трансверсальном направлении – 90.9 м. Высокоточное определение орбиты обеспечивалось одним наземным измерительным комплексом и бортовой аппаратурой спутниковой навигации. Таким образом, была разрабо-

тана однопунктовая схема наземных траекторных измерений для малых космических аппаратов.

13 июля 2019 года с космодрома Байконур при участии баллистиков ИПМ им. М.В. Келдыша РАН запущен космический аппарат «СПЕКТР-РГ» с двухсоставной космической астрофизической обсерваторией, состоящей из отечественной ART-X и германской eRosita. Обсерватория «СПЕКТР-РГ» изучает Вселенную в гамма- и рентгеновском спектральных диапазонах (*Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018*). Концепция космической рентгеновской и гамма-обсерватории была сформулирована советскими и иностранными учёными еще в конце 80-х годов. КА «СПЕКТР-РГ» является очередным космическим аппаратом НПО им. С.А. Лавочкина после КА «СПЕКТР-Р», успешно выполняющим астрофизические исследования.

Наблюдения, выполненные с помощью обсерватории «СПЕКТР-РГ», существенно дополняют наблюдения знаменитого оптического телескопа «ХАББЛ», работающего в световом диапазоне частот от ультрафиолетового до инфракрасного. Сегодня БЦ ИПМ выполняет поставленные НПО им. С.А. Лавочкина задачи баллистико-навигационного обеспечения полёта КА «СПЕКТР-РГ», обеспечивая высокоточное определение его квазипериодической орбиты. В 2021 году выполнено четыре коррекции для поддержания геометрии траектории КА и обеспечения его наилучшей видимости с наземных измерительных пунктов с территории России. Траектория КА «СПЕКТР-РГ» до и после проведения коррекции 24 ноября 2021 года показана на рисунке 1. На этом рисунке серым цветом выделен участок траектории до, а чёрным – после проведения коррекции. Красным цветом показана траектория движения КА в случае отсутствия выполнения корректирующего импульса. Траектории показаны во вращающейся геоцентрической системе координат Солнце – Земля (тыс. км).

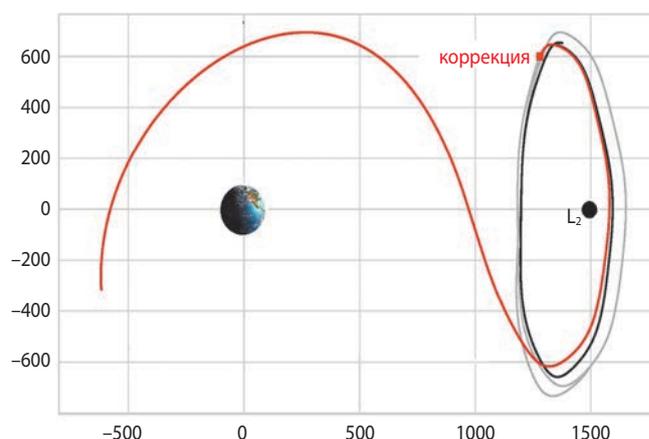


рисунок 1. Коррекция 24 ноября 2021 года

Запуск и надёжное функционирование КА «СПЕКТР-РГ» является значимым достижением российской космонавтики в деле изучения более миллиона рентгеновских источников Вселенной (Буренин Р.А., Старобинский А.А., Сюняев Р.А. и др., 2021). Измерения, проводимые КА «СПЕКТР-РГ», предоставляют возможность развития рентгеновской навигации (Ревнивцев М.Г., Гаджилы О.Э., Лутовинов А.А., Мольков С.В. и др., 2015).

БЦ ИПМ выполняет работы по оперативному баллистическому сопровождению запусков космических аппаратов с космодрома в Гвианском космическом центре с использованием ракет-носителей «Союз» и разгонного блока «Фрегат». Производится обработка телеметрической информации бортовой системы управления, получаемой на зарубежных наземных станциях, расположенных по трассе полёта разгонного блока. Результатом обработки бортовых измерений телеметрической информации являются параметры орбит разгонного блока до и после проведения динамических операций. Проведено 26 совместных оперативных работ БЦ ИПМ и НПО им. С.А. Лавочкина по контролю выведения космических аппаратов.

2. Будущие космические проекты

2.1. Лунная программа

Россия возвращается к исследованию Луны. Основными научными задачами изучения Луны автоматическими КА являются: полное картографирование лунной поверхности, изучение внутреннего строения Луны и кратеров на Южном полюсе Луны, разведка природных ресурсов, выбор одного или нескольких районов, наиболее подходящих для размещения автоматической и обитаемой лунной базы, исследование воздействия на Луну потоков излучения различной природы. В рамках реализации отечественной лунной программы предполагается осуществление двух типов экспедиций: орбитальной и посадочной. Научные задачи будут решаться как с помощью дистанционного зондирования с орбиты ИСЛ, так и в ходе контактных исследований на поверхности Луны с помощью небольших посадочных аппаратов. Особое внимание при этом должно быть уделено определению состава и условий залегания полезных ресурсов в приполярных областях.

2.2. Проект «ЛУНА-25»

Согласно Федеральной космической программе на 2016–2025 годы космическая экспедиция «ЛУНА-25» станет первой миссией в рамках российской лунной программы. Основной задачей КА «ЛУНА-25» является отработка технологии полёта к Луне и проведение точной посадки в заданной области южного

полярного региона Луны (Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018). В этом проекте ИПМ им. М.В. Келдыша выполняет традиционные работы по баллистико-навигационному обеспечению управления полётом, а также в разработке бортовой системы управления движением, в том числе бортового программно-алгоритмического обеспечения управления движением КА на этапе посадки на поверхность Луны (Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Сихарулидзе Ю.Г., Тучин Д.А. и др., 2016). Спуск КА начинается с эллиптической орбиты ИСЛ с диапазоном высот (над поверхностью Луны) приблизительно от 18 до 100 км. Эта орбита формируется таким образом, чтобы её перицентр находился над местом посадки. Траектория спуска включает этап основного торможения, который начинается в точке схода с предпосадочной эллиптической орбиты и заканчивается с нулевой конечной скоростью на заданной высоте над местом посадки. Второй этап (прецизионное торможение) предназначен для формирования условий безопасного прилунения. На третьем этапе спуск осуществляется вертикально с ограниченной скоростью, что должно гарантировать безопасное прилунение. Основная масса топлива тратится на этапе основного торможения, когда орбитальная скорость гасится до нуля. Одновременно на этом этапе обеспечивается точность приведения КА к месту посадки. Из сказанного следуют высокие требования к алгоритмам управления на этапе основного торможения, которые должны гарантировать минимальный расход топлива и одновременно максимальную точность при наличии различных возмущающих факторов. Существующая неопределённость в величинах тяги двигателей, а также неопределённость в знании начальной массы КА при сходе с предпосадочной орбиты и ошибки начального вектора состояния намного усложняют задачу точного приведения КА в заданное место прилунения. Эта задача решается с помощью терминального алгоритма наведения с адаптацией к фактическим условиям движения (Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Сихарулидзе Ю.Г., Тучин Д.А. и др., 2016; Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г., 1990). Для отработки алгоритмов управления на этапе посадки в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и НПО им. С.А. Лавочкина созданы стенды, включающие бортовой компьютер и математические модели бортовых приборов.

2.3. Проект «ЭКЗОМАРС»

В рамках программы изучения Марса было разработано два проекта – «ЭКЗОМАРС-18» и «ЭКЗОМАРС-22». Орбитальный аппарат первой экспедиции успешно функционирует на орбите Марса, составной КА второй экспедиции планируется запустить осенью 2022 года.

В состав КА «ЭКЗОМАРС-22» входят перелётный модуль (ПМ), десантный модуль (ДМ) и адаптер с системой отделения десантного модуля от перелётного модуля. Выведение составного КА на траекторию полёта к Марсу планируется осуществить из Байконура российской ракетой-носителем (РН) «Протон-М» с разгонным блоком (РБ) «Бриз-М». Перелётный модуль разрабатывается Европейским космическим агентством (ЕКА) и предназначен для доставки десантного модуля к Марсу. Управление КА на участке перелёта и наведение для последующего входа ДМ в атмосферу Марса осуществляются наземными станциями ЕКА при поддержке российских станций и российских баллистических центров (Тучин А.Г., Грушевский А.В., Захваткин М.В., Симонов А.В. и др., 2020). Десантный модуль разрабатывается НПО им. С.А. Лавочкина и предназначен для доставки на поверхность Марса стационарной посадочной платформы (ПП) с комплексом научной аппаратуры и автономного марсохода (ровера) разработки ЕКА. Срок активного существования ПП на поверхности должен быть не менее марсианского года (около двух земных лет).

Проект предполагает использование станций слежения:

- Россия: Медвежьи Озёра;
- ESTRACK (ESA): Malargue (Маларгуэ), New Norcia (Нью-Норсия) и Cebreros (Цебрерос);
- DSN (NASA): Goldstone (Голдстоун), Canberra (Канберра) и Madrid (Мадрид).

2.4. Проект «ВЕНЕРА-Д»

В России ведутся работы по проектированию отечественного КА «ВЕНЕРА-Д» для исследования поверхности Венеры (Иванов М.А., Засова Л.В., Герасимов М.В., Кораблев О.И. и др., 2017; Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Киселева И.П., Корянов В.В. и др., 2018). Планируемая дата старта: 11 ноября 2029 года. На рисунке 2 показаны изолинии суммарных затрат характеристической скорости для окна стартов перелёта от Земли к Венере в 2029 году (Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Киселева И.П., Корянов В.В. и др., 2018). Автоматическая межпланетная станция «ВЕНЕРА-Д» состоит из орбитального и посадочного аппаратов для комплексного изучения атмосферы

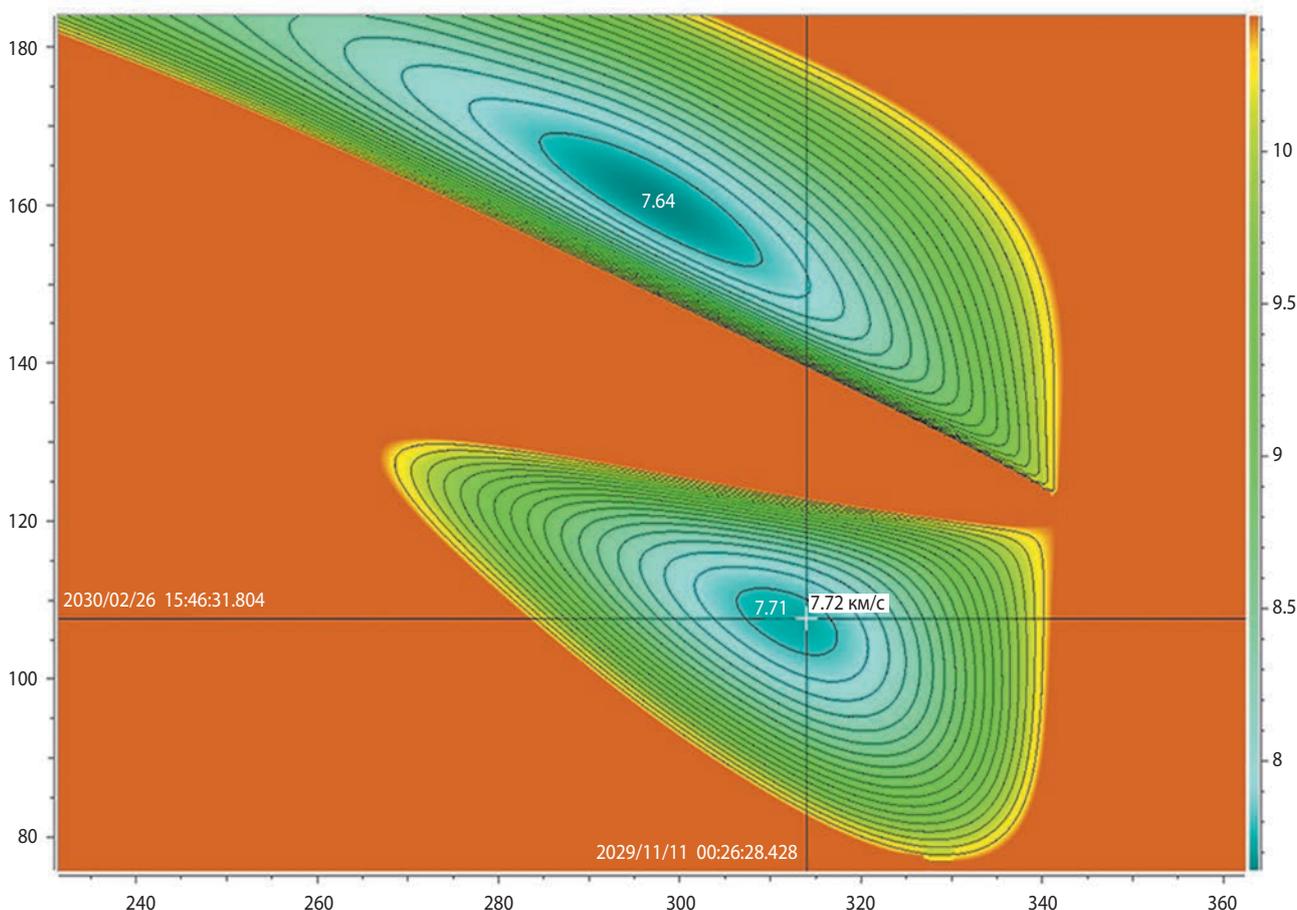


рисунок 2. Изолинии суммарных затрат характеристической скорости для окна стартов перелёта от Земли к Венере в 2029 году

второй от Солнца планеты, её поверхности, внутреннего строения и окружающей плазмы.

Разработка экономичных баллистических схем полётов КА к Венере и прохождения её сферы действия актуальна и необходима для увеличения полезной нагрузки КА за счёт снижения массы топлива. Баллистическое проектирование подобных схем, в частности, является существенной составной частью перспективного отечественного проекта «ВЕНЕРА-Д», предусматривающего посадку спускаемого модуля на её поверхность в заданном районе. После многолетнего перерыва Венера изучалась лишь с орбиты, например, европейским проектом «ВЕНЕРА-ЭКС-ПРЕСС» (2005–2015). Проект «Венера-Д» является следующим шагом после успешной серии миссий «ВЕНЕРА» и «ВЕГА» в 70-х, 80-х годах. Качественным отличием современного посадочного аппарата от программы «Вега» является оснащённость знаниями о геологии поверхности по результатам радарных исследований КА «ВЕНЕРА-15, -16» и КА «МАГЕЛЛАН». Посадочный аппарат будет садиться не вслепую, как раньше, а на местность с известным геологическим контекстом (Иванов М.А., Засова Л.В., Герасимов М.В., Кораблев О.И. и др., 2017; Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Киселева И.П., Корянов В.В. и др., 2018; Засова Л.В., Иванов М.А., Воронцов В.А., Хатунцев И.В. и др., 2017; Borovin G.K., Grushevskii A.V., Tuchin A.G., Tuchin D.A., 2019).

2.5. Проект «СПЕКТР-М»

Россия возвращается к проекту создания космической обсерватории «МИЛЛИМЕТРОН» и интерферометра Земля – Космос. На этой основе планируется провести исследования астрономических объектов со сверхвысокой чувствительностью в миллиметровом, субмиллиметровом и дальнем инфракрасном диапазонах спектра электромагнитного излучения. Космическая обсерватория и функционирующий на её основе интерферометр с угловым разрешением до 30 наносекунд дуги дадут возможность получения уникальной информации о глобальной структуре Вселенной, о строении и эволюции галактик, их ядер, звёзд и планетных систем, а также об органических соединениях в космосе, объектах со сверхсильными гравитационными и электромагнитными полями.

Космическая обсерватория «МИЛЛИМЕТРОН» должна быть выведена на квазипериодическую орбиту в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце – Земля (Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018), обеспечивающую выход из эклиптики (амплитуда по оси Z вращающейся системы координат) более чем на 1 млн км. Также необходимо соблюсти условия по освещённости аппарата – продолжительность пребывания в конусе земной тени не должна превышать один час.

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН в рамках проекта космического комплекса «СПЕКТР-М» провёл исследования по БНО полёта, которые включают: выбор начальных параметров траектории перелёта КА в район точки либрации L_2 системы Солнце–Земля, разработку методики проведения коррекций и оценки потребных корректирующих импульсов на этапе перелёта и на гало-орбите, оценку точности прогнозирования параметров рабочей орбиты КА, оценку точности определения и прогнозирования параметров движения КА «СПЕКТР-М».

Для определения параметров движения КА «СПЕКТР-М» планируется использовать пять станций слежения, две из которых расположены в Северном полушарии (станции в Медвежьих Озёрах и на Байконуре) и три (станции в Маларгуэ (Аргентина), в Хартибисхуке (ЮАР) и в Нью-Норсии (Австралия)) – в Южном полушарии. Основные станции слежения расположены в Медвежьих Озёрах и на Байконуре.

В случае нештатной ситуации или отсутствия видимости КА с одной из основных станций слежения возможно привлечение станции, расположенной в Усурийске. Длительность интервалов, в течение которых отсутствует видимость аппарата со всех станций слежения, не должна превышать одних суток. Благодаря привлечению к работе станций, расположенных в Южном полушарии, для выбранной орбиты это условие выполняется.

При выборе орбит для эксплуатации обсерватории «МИЛЛИМЕТРОН» будет учитываться опыт работы обсерваторий «СПЕКТР-Р» («РАДИО-АСТРОН») и «Спектр-РГ» (Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018).

2.6. Юпитерианский проект

Коллективы НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН работают над перспективными космическими проектами, к которым относится и проект исследования системы Юпитера «Лаплас-П» (Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др., 2018; Голубев Ю.Ф., Тучин А.Г., Грушевский А.В., Корянов В.В. и др., 2015).

Дополнительная характеристическая скорость полёта КА, получаемая за счёт орбитальной энергии планет или их спутников, даёт возможность для совершения туров к планетам-гигантам, и, в первую очередь, к системе Юпитера. И если в первых космических миссиях подобного рода («ПИОНЕР-10», «ВОЯДЖЕР-1») выбранная «мишень» использовалась в качестве «катапульти» нового разгона корабля, то в последующих, более «изошрённых», сценариях использовались не только разгонные гравитационные манёвры, но и симметричные им тормозные. В этих

время: 811.8 сут
радиация: 32.82 крад

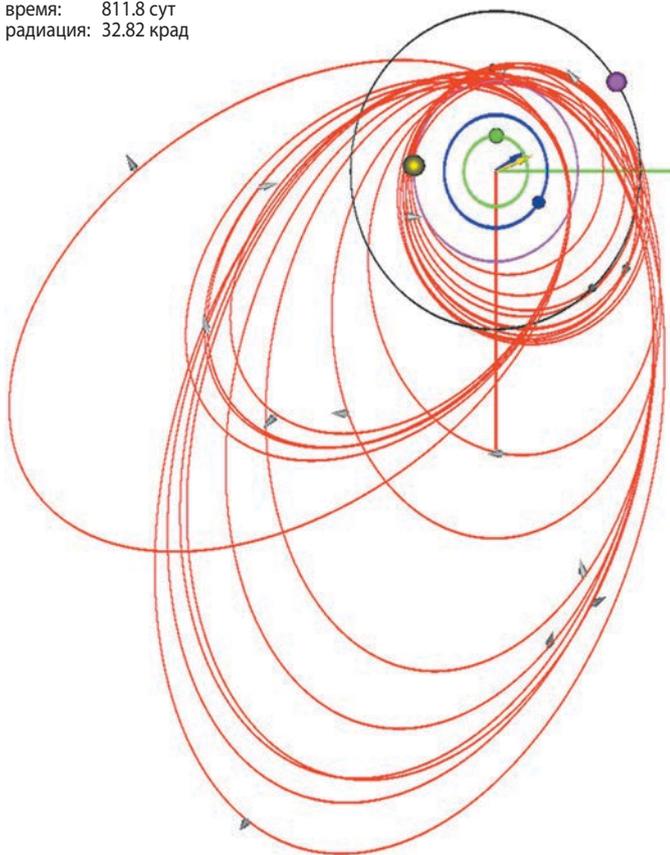


рисунок 3. Сценарий сближения КА с Ганимедом

случаях, наряду с выбором «окон старта» от Земли, появилась необходимость разработки комбинационного маневрирования с соответствующими сценариями и схемами гравитационных манёвров. На рисунке 3 показан найденный сценарий комфортабельного по накопленной дозе радиации тура сближения КА с Ганимедом на средней плоскости системы Юпитера с указанной величиной и направлениями импульсов. На этом рисунке цветом обозначены юпитерианские луны Ио, Европа, Ганимед, Каллисто: зелёным, синим, жёлтым, пурпурным соответственно.

Целью перспективного проекта «ЛАПЛАС-П», как составной части фундаментальных исследований по проблемам происхождения и эволюции планет Солнечной системы, является исследование Юпитера и его спутников. Одна из основных особенностей этого проекта – использование нескольких гравитационных манёвров около естественных небесных тел. Проект «ЛАПЛАС-П» предусматривает посадку на один из спутников Юпитера, которую при наличии ограничений на расход топлива можно обеспечить только с помощью гравитационных манёвров около крупных естественных спутников Юпитера: Ио, Европы, Ганимеда, Каллисто. При этом ограниченные динамические возможности использования спутников Юпитера требуют проведения десятков

прохождений около них. Становится очевидной актуальность регулярного построения оптимальных сценариев – последовательностей прохождения небесных тел и выработки условий их исполнения (Голубев Ю.Ф., Тучин А.Г., Грушевский А.В., Корянов В.В. и др., 2015).

2.7. Проект «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД»

В планах «Роскосмоса» среди важнейших перспективных проектов в дальнем космосе выделен проект «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД», который должен открыть новый этап исследования Солнца (его приполярных областей) путём построения высоконаклонённой внеэклиптической орбиты КА. Проекты указанного класса невозможно реализовать без совершения гравитационных манёвров (около Венеры), поскольку операции по изменению наклона орбиты КА являются наиболее энергозатратными. Необходимое проведение сложнейшего, нелинейного 3D-баллистического проектирования синтеза высоконаклонённых орбит с использованием динамических пространственных особенностей ограниченной задачи трёх тел и существования в ней интеграла Якоби было успешно реализовано в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН с использованием эфемеридных моделей (Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г. и др., 2017; Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г. и др., 2017). На рисунке 4 показан выбор возможной последовательности гравитационных манёвров около Венеры для миссии «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» с помощью инвариантной сферы асимптотической скорости КА относительно Венеры. На нём нанесены линии резонансов между орбитальными движениями КА и Венеры.

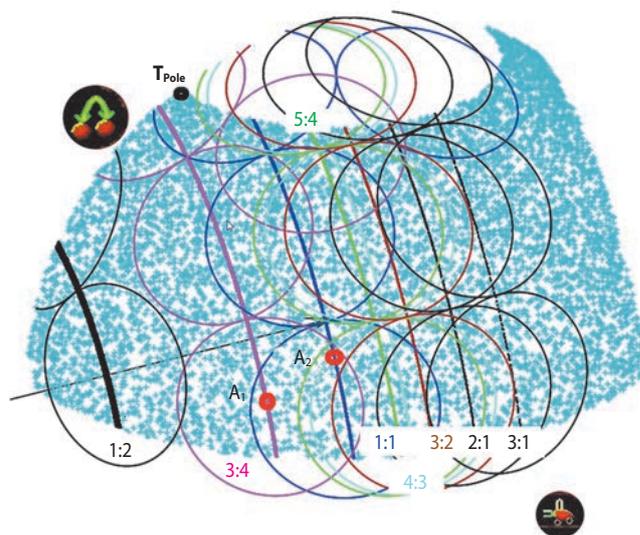


рисунок 4. Выбор возможной последовательности гравитационных манёвров около Венеры для миссии «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД»

T_{pole} – полюс максимально возможного наклона КА относительно орбиты Венеры (30°). В результате становится доступным наблюдение полюса Солнца с орбиты, имеющей наклонение 32° .

Проект «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» предназначен для исследований внутренней гелиосферы и Солнца с близких расстояний и из внеэллиптических положений на гелиоцентрических орбитах. Ныне действующие солнечные космические миссии (SOHO, STEREO, SDO, Hinode и др.) и исследования прошлых лет (Yohkoh, КОРОНАС-Ф и др.) много дали для понимания того, как устроено Солнце, как оно работает; для изучения солнечно-земных связей. Дальнейшее продвижение в интерпретации происходящих на Солнце и в гелиосфере процессов связано с необходимостью новых исследований. Дистанционное зондирование Солнца с близких расстояний с высоким пространственным разрешением наряду с локальными измерениями вблизи светила, а также внеэллиптические наблюдения станут следующим шагом в нашем стремлении узнать больше о Солнце и околосолнечном пространстве.

В проекте «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» предполагается, что КА сблизится с Солнцем до расстояний в 60–70 солнечных радиусов и станет постепенно выходить из плоскости эклиптики, т.е. угол между плоскостью орбиты аппарата и плоскостью эклиптики будет возрастать. Для сближений с Солнцем и наклона плоскости орбиты к плоскости эклиптики планируется использовать многократные гравитационные манёвры у Венеры. Баллистическая схема миссии включает короткую эллиптическую фазу, в которой КА приблизится к Венере с помощью гравитационного манёвра около Земли.

КА, который должен обеспечить функционирование комплекса научной аппаратуры на рабочих орбитах в условиях повышенных потоков излучения и радиации, находится в стадии разработки в НПО им. С.А. Лавочкина. Аппарат будет иметь тепловой экран для защиты от перегрева, отверстия в котором обеспечат поля зрения для оптических приборов. Объём передаваемой телеметрии составит около 1 Гбайт/сут.

Реализация миссии «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» может пересечься по срокам с другими солнечно-гелиосферными миссиями NASA «SOLAR PROBE+» («PARKER») и ЕКА («SOLAR ORBITER»), а также с их проектами по изучению Венеры. Они планируют отправить к Венере автоматические станции: «DAVINCHI+» (Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gases, Chemistry, and Imaging, 2029–2031) для изучения плотной атмосферы планеты и определения существования океана на её поверхности и «VERITAS» (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy, 2028–2029)

для составления геологической карты планеты. ЕКА также планирует миссию для выполнения радиолокационного картирования Венеры с высоким разрешением и её атмосферных исследований «ENVISION» (2031). В этом случае может появиться возможность организации координированных наблюдений и измерений с пространственно разнесённых аппаратов, что позволит обеспечить глобальный обзор солнечной активности, более детальную пространственно-временную картину солнечных и гелиосферных явлений: вспышек, выбросов, потоков солнечного ветра и энергичных частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коллективам НПО им. С.А. Лавочкина и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН предстоят сложные высокотехнологические, ответственные и важные работы по проектированию и реализации полётов автоматических космических аппаратов в проектах исследования Луны, Солнечной системы и в астрофизических проектах.

Коллектив ИПМ им. М.В. Келдыша РАН искренне поздравляет дружелюбный коллектив НПО им. С.А. Лавочкина с юбилеем! Наше эффективное сотрудничество в освоении космического пространства в течение более 55 лет позволяет надеяться, что предстоящие совместные работы будут успешно выполняться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований / Под общ. ред. Г.М. Полищука и К.М. Пичхадзе. М.: МАИ-Принт, 2010. 660 с.

Байцур С.Г., Заславский Г.С., Плотникова О.В., Пухликов М.С. Алгоритм расчёта оценки безопасного полёта искусственного спутника планеты в окрестности её естественного спутника // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. 1991. № 83. 32 с.

Белецкий В.В. Шесть дюжин. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 688 с.

Буренин Р.А., Старобинский А.А., Сюняев Р.А. и др. Наблюдение скопления галактик очень большой массы на $z=0.76$ в обзоре всего неба SRG/ePOZITA // Письма в астрономический журнал. 2021. Т. 47, № 7. С. 461–471. DOI: 10.31857/S0320010821070044.

Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Киселева И.П., Корянов В.В. и др. Баллистическое проектирование полётов к Венере в эпоху 2021–2028 гг. Области достижимости при посадке // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2018. № 76. 28 с.

Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г. и др. Методика формирования больших наклонов орбит космических аппаратов с использованием гравитационных манёвров // Доклады

РАН. 2017. Т. 472, № 4. С. 403-406. DOI: 10.7868/S0869565217040090.

Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г. и др. Формирование орбит космического аппарата с большим наклоном к эклиптике посредством многократных гравитационных манёвров // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 2. С. 108-132. DOI: 10.7868/S0002338817020081.

Голубев Ю.Ф., Тучин А.Г., Грушевский А.В., Корянов В.В. и др. Основные методы синтеза траекторий для сценариев космических миссий с гравитационными манёврами в системе Юпитера и посадкой на один из его спутников // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 4. С. 97-103; 2016. № 1. С. 37-45.

Гордиенко Е.С., Ильин И.С., Мжельский П.В., Михайлов Е.А. и др. Баллистико-навигационное обеспечение полёта малых космических аппаратов «ЗОНД-ПП» и «РЭЛЕК» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 2. С. 31-43.

Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Сихарулидзе Ю.Г., Тучин Д.А. и др. Управление на этапе основного торможения при посадке на Луну космического аппарата с комбинированной двигательной установкой // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2016. № 2. С. 104-114.

Заславский Г.С. Алгоритм расчёта вероятности выполнения ограничений на движение космического аппарата относительно небесного тела // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. 1991. № 2. 29 с.

Заславский Г.С., Захваткин М.В., Кардашев Н.С., Ковалев Ю.Ю. и др. Проектирование коррекции траектории космического аппарата СПЕКТР-Р при наличии погружений его в сферу влияния Луны // Космические исследования. 2017. Т. 55, № 4. С. 305-320.

Заславский Г.С., Степаньянц В.А., Тучин А.Г., Погодин А.В. и др. Коррекция траектории движения космического аппарата СПЕКТР-Р // Космические исследования. 2014. Т. 52, № 5. С. 387-398.

Заславский Г.С., Тучин А.Г., Захваткин М.В., Шишов В.А. и др. Баллистико-навигационное обеспечение управления полётом КА и выполнения научной программы проекта «РАДИОАСТРОН». Пять лет полёта // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 3. С. 25-37.

Засова Л.В., Иванов М.А., Воронцов В.А., Хатунцев И.В. и др. Земля и Венера: разные судьбы соседних планет: пояснительная записка. Совместный российско-американский проект по исследованию Венеры / Под ред. акад. Л.М. Зеленого. М., 2017.

Иванов М.А., Засова Л.В., Герасимов М.В., Корблев О.И. и др. Природа различных типов местности на поверхности Венеры и выбор перспективных мест посадки для спускаемого аппарата экспедиции

ВЕНЕРА-Д // Астрономический вестник. 2017. Т. 51, № 1. С. 3-23. DOI: 10.7868/S0320930X17010029.

Ивашкин В.В. Лунные траектории космических аппаратов: пионерские работы в Институте прикладной математики и их развитие // Прикладная небесная механика и управление движением: сб. статей, посвященный 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010. 368 с.

Котельников В.А., Барсуков В.Л., Аким Э.Л. и др. Атлас поверхности Венеры. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1989. 328 с.

Навигация космических аппаратов при исследовании дальнего космоса / Под ред. Е.П. Молотова, А.Г. Тучина. М.: Радиотехника, 2016. 232 с.

Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полёта. М.: Наука, 1990. 448 с.

Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М., Аким Э.Л., Сарычев В.А. Прикладная небесная механика и управление движением // Прикладная небесная механика и управление движением: сб. статей, посвященный 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010. 368 с.

Ревнивцев М.Г., Гаджилы О.Э., Лутовинов А.А., Мольков С.В. и др. О возможности уточнения орбиты спутников по данным наблюдений одиночных рентгеновских пульсаров // Письма в астрономический журнал. 2015. Т. 41, № 8. С. 490-496. DOI: 10.7868/S0320010815080069.

Тучин А.Г., Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В. и др. Баллистико-навигационное обеспечение полётов автоматических космических аппаратов к телам Солнечной системы / Под ред. А.Г. Тучина. Химки, АО «НПО Лавочкина», 2018. 336 с.

Тучин А.Г., Грушевский А.В., Захваткин М.В., Симонов А.В. и др. Российский сегмент баллистико-навигационного обеспечения полёта и спуска десантного модуля миссии «ЭКЗОМАРС-2022» // Российский сегмент международной космической экспедиции «ЭКЗОМАРС-2022» / Под ред. В.В. Ефанова, Х.Ж. Карчаева. В 2-х т. Т. 1. Химки: АО «НПО Лавочкина», 2020. 232 с.

Шишов В.А. Определение параметров движения КА и Фобоса в проекте «ФОБОС-ГРУНТ» // Астрономический вестник. 2008. Т. 42, № 4. С. 341-350.

Borovin G.K., Grushevskii A.V., Tuchin A.G., Tuchin D.A. Russian exploration of Venus: Past and Prospects // *Mathematica Montisnigri*. 2019. Vol. XLV.P. 137-148. DOI 10.20948/mathmontis-2019-45-12.

Статья поступила в редакцию 09.02.2022

Статья после доработки 09.02.2022

Статья принята к публикации 09.02.2022

**СОТРУДНИЧЕСТВО АО «ЦНИИМАШ»
И АО «НПО ЛАВОЧКИНА»
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МАРСА
«ЭКЗОМАРС»**

**COOPERATION BETWEEN
JSC TSNIIMASH AND LAVOCHKIN
ASSOCIATION, JSC IN THE
IMPLEMENTATION OF THE EXOMARS
MARS EXPLORATION PROJECT**



В.В. Хартов¹,
доктор технических наук,
KhartovVV@tsniimash.ru;
V.V. Khartov



Ю.Е. Кудрявцев¹,
кандидат технических наук,
KudryavtsevYE@tsniimash.ru;
Yu.E. Kudryavtsev



В.М. Михайлов¹,
кандидат технических наук,
mvm@tsniimash.ru;
V.M. Mikhaylov



Н.В. Можина¹,
natali_mozhina@
tsniimash.ru;
N.V. Mozhina



О.Е. Прокопенко¹,
ProkopenkoOE@
tsniimash.ru;
O.E. Prokopenko



К.Г. Райкунов¹,
кандидат технических наук,
RaykunovKG@tsniimash.ru;
K.G. Raykunov



¹ АО «ЦНИИМаш», Россия, Московская область,
г. Королев.

JSC «TsNIIMash», Russia, Moscow region, Korolev.

В статье представлены обзор, цели и задачи первого и второго этапов проекта по исследованию Марса «ЭКЗОМАРС». Приведены основные данные по космическому аппарату первого этапа проекта («ЭКЗОМАРС-2016»), научным приборам, установленным на орбитальном аппарате TRACE GAS ORBITER (TGO), полученным к настоящему времени результатам выполнения программы научных исследований, использованию Российского комплекса приёма научной информации, а также данные о составном космическом аппарате второго этапа проекта, о комплексах научной аппаратуры, установленных на посадочной платформе и марсоходе. Приведено описание тесного сотрудничества АО «ЦНИИМаш» и АО «НПО Лавочкина» при реализации проекта «ЭКЗОМАРС».

Ключевые слова: проект «ЭКЗОМАРС»; орбитальный аппарат TGO; Российский комплекс приёма научной информации; составной космический аппарат; десантный модуль; посадочная платформа; марсоход; комплекс научной аппаратуры.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.005

Проект «ЭКЗОМАРС» – это исследования Марса как с орбиты искусственного спутника, так и с поверхности планеты, основной целью которых является поиск следов существования в прошлом и настоящем жизни на Марсе.

Проект «ЭКЗОМАРС» реализуется с 2012 года, при этом с 2013 года по март 2022 года работы по проекту велись в соответствии с Соглашением между Федеральным космическим агентством (Российская Федерация) и Европейским космическим агентством о сотрудничестве в исследовании Марса и других тел Солнечной системы робототехническими средствами от 14 марта 2013 года.

Реализация проекта предусматривала два этапа.

Первый этап проекта стартовал 14 марта 2016 года. С помощью российской ракеты-носителя (РН) «Протон-М» с разгонным блоком (РБ) «Бриз-М» на отлётную траекторию к Марсу был выведен европейский космический аппарат, состоявший из орбитального аппарата TRACE GAS ORBITER (TGO), предназначенного для исследований атмосферы Марса, и спускаемого аппарата (СА) «СКИАПАРЕЛЛИ», предназначенного для отработки технологии мягкой посадки и изучения поверхности Марса. Аппарат TGO 19 октября 2016 года вышел на орбиту спутника Марса и успешно функционирует до настоящего времени, однако мягкая посадка «СКИАПАРЕЛЛИ»

The article presents an overview, goals and objectives of the first and second stages of the EXOMARS Mars exploration project. The basic data on the spacecraft of the first stage of the project (EXOMARS-2016), the scientific instruments, installed on the TRACE GAS ORBITER (TGO), the results of the implementation of the scientific research program received to date, the use of Russian scientific data acquisition complex, as well as the Spacecraft Composite of the second stage of the project, the Payloads installed on the Landing Platform and the Rover are given. The description of the close cooperation between JSC TsNIIMash and Lavochkin Association, JSC in the implementation of the EXOMARS project is presented.

Key words: EXOMARS program; TGO orbiter; Russian scientific data acquisition complex; Spacecraft Composite; Descent Module; Landing Platform; Rover; Payload.

не удалась – аппарат был потерян. По итогам работы аварийной комиссии была определена причина аварии: в момент раскрытия парашюта угловая скорость поперечных колебаний СА превысила расчётное значение, в результате чего гироскопом инерциального измерительного блока в состоянии насыщения было получено ошибочное значение угловой скорости. Это значение было использовано программным обеспечением системы управления движением, что привело к неверной оценке положения и ориентации спускаемого аппарата – получено отрицательное значение высоты при фактическом нахождении аппарата на высоте ~3,5–4,0 км, выданы преждевременные команды на отделение заднего кожуха, включение и выключение двигателей и переход программного обеспечения в режим работы на поверхности; это привело к свободному падению спускаемого аппарата и его разрушению при ударе о поверхность Марса. С учётом выявленной причины аварийной посадки были выданы рекомендации для второго этапа проекта.

В настоящее время орбитальный аппарат TGO продолжает успешное выполнение программы научных исследований и передачу научных данных, получаемых с помощью установленных на нём двух российских и двух европейских научных приборов. Помимо выполнения научной программы, TGO функционирует в качестве ретранслятора для обмена данными

с марсоходами Curiosity и Perseverance, а также с посадочным аппаратом InSight (НАСА). Орбитальный аппарат TGO планировалось использовать в качестве ретранслятора данных второго этапа проекта «ЭКЗОМАРС» во время работы российской посадочной платформы «Казачок» и европейского марсохода «Розалинд Франклин» на поверхности Марса.

Следует отметить, что с 2016 года приём более половины всего объёма научной информации осуществлён средствами Российского комплекса приёма научной информации (РКПНИ), размещёнными в Медвежьих Озёрах и в Калязине. РКПНИ был создан и задействован в проекте «ЭКЗОМАРС» в рекордно короткие сроки. Впервые за последние 30 лет в России создана и успешно используется высокотехнологичная отечественная наземная инфраструктура, позволяющая обеспечивать приём научной информации с космических аппаратов в дальнем космосе на уровне лучших мировых аналогов, а по некоторым параметрам – и превосходя их (<https://www.roscosmos.ru/33038/>; <https://www.roscosmos.ru/32080/>).

Реализация второго этапа проекта «ЭКЗОМАРС» планировалась в 2022 году. РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» должны были обеспечить выведение составного КА максимальной отделяемой массой 2900 кг на отлётную траекторию к Марсу с заданными параметрами для каждого дня пускового интервала (окно старта: 20 сентября – 1 октября 2022 года). Составной КА состоит из перелётного модуля (ответственность Европейского космического агентства – ЕКА) и десантного модуля (ответственность Госкорпорации «Роскосмос»).

Задача перелётного модуля – обеспечение ориентации КА и функционирования всех его элементов на этапе перелёта, а также обеспечение отделения десантного модуля (ДМ) в нужной точке баллистической траектории. В состав ДМ входят российская посадочная платформа «Казачок» и установленный на ней европейский марсоход «Розалинд Франклин». Задача посадочной платформы – обеспечение мягкой посадки на Марс и проведение научных экспериментов после схода с неё марсохода. Основное назначение марсохода – проведение научных экспериментов, задача которых – поиски следов жизни на Марсе. Перелётный модуль и марсоход разработаны европейскими организациями под эгидой ЕКА. Десантный модуль с посадочной платформой разработан российскими предприятиями (головной разработчик – АО «НПО Лавочкина»). Научные приборы для проведения исследований Марса созданы как российскими организациями (при головной роли Института космических исследований Российской академии наук – ИКИ РАН), так и европейскими

организациями. Научные приборы установлены на посадочной платформе и на марсоходе.

С начала работ по проекту «ЭКЗОМАРС» осуществляется тесное сотрудничество АО «ЦНИИмаш» и АО «НПО Лавочкина» по его реализации.

АО «ЦНИИмаш» выполнен комплекс расчётно-теоретических и экспериментальных работ в интересах обеспечения требуемых характеристик десантного модуля и посадочной платформы второго этапа проекта «ЭКЗОМАРС» (<https://www.roscosmos.ru/25225/>).

В Комплексе теплообмена и аэрогазодинамики были проведены расчётно-экспериментальные работы в обеспечение разработки конструкции ДМ. Проведено численное моделирование обтекания ДМ в атмосфере Марса, получены тепловые нагрузки и касательные напряжения, действующие со стороны потока на поверхность ДМ. После проведения тепловых испытаний на установке У-13ВЧП и эрозионных на установке ПБУ были выбраны материалы-кандидаты для тепловой защиты ДМ. На установке ТТ-1 была проведена отработка уноса теплозащитного материала (ТЗМ) ДМ с учётом теплосилового воздействия потока. Проведённые на установке ПГУ-7 экспериментальные исследования тепловых потоков на модель ДМ позволили определить зоны усиленного теплообмена и провести валидацию имеющихся в Комплексе расчётных программ. Экспериментально на установках У-3М, У-4М, У306-3, а также путём численного моделирования были определены аэродинамические характеристики (АДХ) (силы и моменты), действующие на ДМ в процессе входа в атмосферу Марса. Проводились исследования влияния изменения формы ДМ при уносе ТЗМ на АДХ. Было проведено численное моделирование отделения аэродинамического экрана от ДМ и показана безопасность отделения. На установке У-22 с барокамерой моделировалась посадка ДМ на грунт для исследования устойчивости ДМ при работе двигателей посадки и касания опор ДМ поверхности Марса.

АО «ЦНИИмаш» осуществляет научно-техническое сопровождение всех российских работ по проекту. При реализации проекта особое внимание уделялось взаимодействию Госкорпорации «Роскосмос» и ЕКА. С российской стороны в проекте задействованы около двадцати организаций космической отрасли и Российской академии наук, с европейской стороны в проекте участвовали десятки организаций и предприятий. АО «ЦНИИмаш» осуществляет научно-техническое сопровождение работ по проекту «ЭКЗОМАРС» как по российским, так и по европейским стандартам. В ходе научно-технического сопровождения обеспечены координация совместных усилий и оперативное решение

текущих вопросов, представление интересов Госкорпорации «Роскосмос» в составе экспертных, проектных и рабочих групп Госкорпорации «Роскосмос» – ЕКА по проекту «ЭКЗОМАРС», в том числе в рамках проведения совместных обзоров проекта, а также научно-технического сопровождения работ по проекту «ЭкзоМарс», выполняемых по европейским стандартам.

Основные задачи АО «ЦНИИмаш» при научно-техническом сопровождении: оказание научно-технической, методической, экспертной и информационно-аналитической поддержки Госкорпорации «Роскосмос», российской части совместного (Госкорпорация «Роскосмос» – ЕКА) независимого контрольного комитета по проекту «ЭКЗОМАРС», главному исполнителю работ (АО «НПО Лавочкина») и другим назначенным организациям по проекту «ЭКЗОМАРС» от Госкорпорации «Роскосмос» на всех стадиях реализации проекта; участие в работе совместных с организациями, промышленными предприятиями-подрядчиками ЕКА проектных и рабочих групп; организация и координация совместно с ЕКА экспертиз и обзоров, проводимых Госкорпорацией «Роскосмос» и ЕКА в рамках проекта «ЭКЗОМАРС», участие в их проведении; ежедневный мониторинг проекта на программном и техническом уровнях.

Специалисты АО «ЦНИИмаш» приняли участие в работе более чем тридцати совместных российско-европейских рабочих групп по различным направлениям, в организации и проведении более чем сорока совместных (Госкорпорация «Роскосмос» – ЕКА) обзоров проекта различного уровня, разрабатывали проектные документы верхнего уровня, требующие утверждения руководством Госкорпорации «Роскосмос», приняли участие в согласовании технических решений и проектных документов, в верификации требований к космическому аппарату, заданных в совместно подписанных российской и европейской сторонами документах. К научно-техническому сопровождению привлекаются ведущие специалисты АО «ЦНИИмаш», работы проводятся с применением современных методов научно-технического сопровождения и контроля.

Первый этап проекта «ЭКЗОМАРС» – миссия «ЭКЗОМАРС-2016»

Программа научных исследований первого этапа проекта «ЭКЗОМАРС» – миссии «ЭКЗОМАРС-2016» – осуществляется с использованием орбитального аппарата TGO для наблюдений атмосферы и поверхности планеты. Наблюдения по научной программе аппарата TGO проводятся с круговой

орбиты высотой ~400 км над поверхностью Марса, близкой к полярной (наклон к плоскости экватора $i=74^\circ$) с периодом примерно два часа. Нахождение TGO на близкой к полярной орбите позволяет охватить наблюдениями большую часть Марса.

Научные задачи миссии:

- регистрация малых составляющих марсианской атмосферы, в том числе метана;
- картирование распространённости воды в верхнем слое грунта с высоким пространственным разрешением – порядка 40–60 км;
- стереосъёмка поверхности.

Научная аппаратура, размещённая на орбитальном аппарате TGO, состоит из следующих четырёх приборов.

NOMAD (Nadir and Occultation for MArS Discovery, ЕКА) – спектрометр для определения и картографирования малых составляющих атмосферы (в том числе метана и изотопов); охватывает широкий диапазон длин волн от ультрафиолетового (УФ) до инфракрасного (ИК) излучения ($\lambda=0,2-4,3$ мкм); предметом изучения являются собственно атмосфера, облака, песчаные образования в атмосфере. Спектрометр NOMAD осуществляет затменные, надирные и лимбовые наблюдения. Режим надирных наблюдений обеспечивает детальное картографирование газовых примесей.

АЦС (ACS – Atmospheric Chemistry Suite, Госкорпорация «Роскосмос», ИКИ РАН) – спектрометрический комплекс для глобальных исследований химического состава атмосферы, разработан для решения главной научной задачи миссии – определения газового состава атмосферы, включая газы вулканического происхождения и метан, методами спектроскопии высокого разрешения на длинах волн $\lambda=0,7-17$ мкм ИК-излучения с орбиты искусственного спутника. АЦС позволяет обнаруживать малые составляющие атмосферы, наблюдать свечения, осуществлять мониторинг аэрозолей и трёхмерных полей температуры.

Спектрометрический комплекс АЦС состоит из блока электроники (АЦС-БЭ) и трёх спектрометров: АЦС-НИР (ACS-NIR) – Эшелле-спектрометр ближнего ИК-диапазона (0,7–1,7 мкм) для мониторинга и измерения вертикальных профилей CO, H₂O и O₂, исследования дневного свечения O₂, поиска ночных свечений, вызываемых фотохимическими процессами в атмосфере; АЦС-МИР (ACS-MIR) – Эшелле-спектрометр среднего ИК-диапазона (2,2–4,4 мкм) для измерения метана, отношения дейтерий/водород, поиска малых составляющих атмосферы, исследования аэрозолей; АЦС-ТИРВИМ (ACS-TIRVIM) – Фурье-спектрометр ИК-диапазона (2–17 мкм) для мониторинга трёхмерных полей

температуры, аэрозолей, обнаружения и картографирования малых составляющих атмосферы. Спектрометрический комплекс АЦС работает в двух режимах: надирные наблюдения (приборы смотрят вниз на поверхность планеты) и режим солнечных затмений (оптические входы приборов ориентированы на Солнце, при этом Солнце заходит за горизонт и его лучи проходят через атмосферу). Последний режим особенно важен, так как обеспечивает исключительную чувствительность и позволяет понять, каким образом различные вещества распределены по высоте. Кроме метана, АЦС позволяет регистрировать другие органические соединения: ацетилен, этилен, этанол, а также пероксид водорода, формальдегид, соляную кислоту, оксид серы, молекулы воды, различные аэрозоли, наблюдает свечение кислорода в атмосфере. Эти небольшие добавки к основному газу марсианской атмосферы очень важны для понимания климата и текущего состояния Марса.

ФРЕНД (FREND – Fine Resolution Epithermal Neutron Detector – детектор эпитепловых нейтронов высокого разрешения, Госкорпорация «Роскосмос», ИКИ РАН) – нейтронный детектор для картографирования распределения воды в подповерхностном слое, включающий в себя дозиметр для мониторинга излучения частиц.

Научные цели прибора ФРЕНД:

- построение карт потоков нейтронов от поверхности Марса с пространственным разрешением 40–60 км;
- построение карт содержания водорода в подповерхностном грунте Марса глубиной до 1 м с разрешением в 40–60 км;
- сравнение потоков нейтронов от поверхности Марса в зависимости от сезона;
- сопоставление данных орбитальных измерений с данными аналогичных приборов других орбитальных и посадочных миссий;
- мониторинг потоков нейтронов и заряженных частиц в периоды активного и спокойного Солнца;
- мониторинг радиационной обстановки на орбите вокруг Марса, изучение состояния гелиосферы на трассе перелёта Земля – Марс и на марсианской орбите, исследование вкладов разных типов частиц (электронов, протонов и других) в радиационную дозу на орбите вокруг Марса.

Нейтронные измерения проводятся в узком поле зрения – около 10° , что позволяет измерять распространённость воды под поверхностью Марса с высоким разрешением.

Камера CaSSIS (Colour and Stereo Surface Imaging System, ЕКА) – набор мультиспектральных камер для стереосъёмки поверхности Марса с разрешением ~ 2 м. Камера высокого разрешения, способна

получать широкой полосой цветные стереоснимки поверхности с разрешением 5 м/пиксел. Камера CaSSIS позволяет определять геологический и динамический контекст для источников и стоков примесных газов, обнаруженных спектрометрами NOMAD и АЦС.

Основной вывод по данным, полученным российским спектрометрическим комплексом АЦС и европейским спектрометром NOMAD: в атмосфере Марса не удалось зарегистрировать метан, а поэтому его концентрация вряд ли превышает уровень в 50 частиц на триллион, что в 10–100 раз меньше, чем показали предыдущие эксперименты. Кроме этого, получены данные о том, каким образом пылевые бури переносят молекулы воды из нижних слоёв атмосферы в верхние слои, что, возможно, ускорило потерю воды с планеты в течение её истории. По данным российского нейтронного детектора ФРЕНД, были составлены карты содержания подповерхностного льда с высоким пространственным разрешением (<https://www.roscosmos.ru/30349/>; <https://www.roscosmos.ru/33053/>).

Второй этап проекта «ЭКЗОМАРС»

Второй этап российско-европейского проекта «ЭКЗОМАРС» предусматривал доставку российской посадочной платформы «Казачок» и европейского марсохода «Розалинд Франклин» на поверхность Марса вблизи экватора (область Oxia Planum) (<https://www.roscosmos.ru/23050/>). Первоначально запуск второго этапа планировался на 2018 год, затем – на 2020 год, однако с учётом недостаточной готовности лётного аппарата и в целях обеспечения успешной реализации миссии было принято решение о переносе запуска на 2022 год (<https://www.roscosmos.ru/28173/>). Заданный срок активного существования посадочной платформы на поверхности Марса составлял 218 сол (224 земных суток) или до начала сезона глобальной пылевой бури, срок активного существования марсохода на поверхности Марса – 218 сол.

Основные научные задачи комплекса научной аппаратуры посадочной платформы (КНА-ЭМ):

- долговременный мониторинг климатических условий на марсианской поверхности в месте посадки;
- исследование состава атмосферы Марса с поверхности;
- исследование взаимодействия атмосферы и поверхности;
- изучение распространённости воды в подповерхностном слое и мониторинг радиационной обстановки в месте посадки;
- изучение внутреннего строения Марса;
- съёмка поверхности, поддержка работы КНА-ЭМ.

Комплекс научной аппаратуры КНА-ЭМ состоит из 13 приборов и бортовой кабельной сети (<https://www.roscosmos.ru/27837/>).

БИП. Блок интерфейсов и памяти (БИП) выполняет функцию управления приборами КНА-ЭМ, а также функцию временного хранения данных.

ТСПП-ЭМ. Телевизионная система посадочной платформы (ТСПП-ЭМ) состоит из четырёх камер и блока сбора данных. Научные задачи ТСПП-ЭМ – панорамная цветная съёмка ландшафта, видеосъёмка динамики посадки и атмосферных процессов. Работа на поверхности заключается в получении панорамы сразу после посадки для оценки условий окружающей среды. Также осуществляется контроль схода марсохода с посадочной платформы.

МТК. Метеорологический комплекс (МТК) предназначен для проведения метеорологических наблюдений в месте посадки – мониторинга температуры, давления, скорости ветра, влажности, оптической плотности, аэрозоля, измерения характеристик атмосферы во время спуска. В состав МТК входят восемь блоков: метеостанга (датчик солнечной радиации, датчик скорости и направления ветра, три термодатчика на разной высоте, датчик влажности, датчик пыли, датчик давления); датчик определения оптической глубины атмосферы (ODS); блок датчиков аэрозоля (БДА МТК); блок датчиков верхней атмосферы (БДВА МТК); блок датчиков штанги поверхности (БДШП МТК); блок управления (БУ МТК); десантный блок (ДБ МТК) и микрофон. На этапе входа в атмосферу, спуска и посадки прибор МТК определяет параметры атмосферы Марса.

РАТ-М. Микроволновый радиометр РАТ-М предназначен для мониторинга температуры параметров грунта (до глубины 1 м в трёх точках) и атмосферы Марса. РАТ-М представляет собой СВЧ-модуляционный радиометр прямого усиления. Во время космического эксперимента сигналом является естественное тепловое радиоизлучение объектов, находящихся в поле зрения антенн.

СЭМ. Сейсмометр СЭМ представляет собой прибор с системой установки на поверхность и предназначен для измерения сейсмической активности Марса по наблюдениям движений поверхности планеты в частотном диапазоне 0,1–10 Гц.

МЭГРЭ. Магнитометр МЭГРЭ состоит из трёх блоков: блока электроники (БЭ МЭГРЭ), датчика индукционного магнитного поля (ЛЕМИ-СЭМ) и феррозондового узла (УФ-М). Научные задачи МЭГРЭ – определение параметров магнитного поля: прибор измеряет квазипостоянное и переменное магнитные поля на поверхности Марса.

ПК. Пылевой комплекс состоит из трёх блоков: ударного сенсора, штанги ПК, проточно-оптического датчика (MicroMED) и кабеля-ДЭП ПК (датчик

электромагнитного поля). Научные задачи ПК: наблюдения за динамикой пыли на поверхности в месте посадки, изучение эоловых (ветровых) отложений на Марсе, мониторинг электрической обстановки в месте посадки.

М-ДЛС. Мультиканальный диодно-лазерный спектрометр М-ДЛС предназначен для мониторинга химического и изотопного состава атмосферы около поверхности Марса в области размещения посадочной платформы. Принцип работы М-ДЛС основан на регистрации оптических спектров молекулярного поглощения проб атмосферного газа.

МГАК. Марсианский газоаналитический комплекс МГАК состоит из двух блоков: газового хроматографа и нейтрального газового масс-спектрометра. МГАК предназначен для изучения дневного и сезонного изменения содержания основных и малых компонентов атмосферы около марсианской поверхности. Научные задачи МГАК: изучение химического состава атмосферы; измерение изотопного состава элементов, формирующих атмосферу; исследование динамики микрокомпонентов, формирующих атмосферу вблизи поверхности; изучение взаимодействия атмосферы и поверхности.

АДРОН-ЭМ. Нейтронный спектрометр с модулем дозиметрии АДРОН-ЭМ используется для изучения связанной воды в грунте, анализа элементного состава поверхности и дозиметрических измерений. АДРОН-ЭМ состоит из двух блоков (АДРОН-ЭМ-ДЭ и блок дозиметра Люлин-МЛ). Прорабатывалась возможность включения в состав прибора АДРОН-ЭМ блока нейтронного генератора ИНГ-10М.

ФАСТ. Фурье-спектрометр ФАСТ предназначен для обнаружения малых компонентов атмосферы (метана и др.), мониторинга температуры/аэрозоля до высоты 20 км и исследования минералогии поверхности. ФАСТ работает в средней и тепловой ИК-областях спектра в диапазоне длин волн от 3 до 15 мкм.

LARA. Когерентный транспондер LARA (Lander RADioscience, Бельгия) предназначен для исследования внутренней структуры и собственного движения Марса, измерения расстояния между Землей и Марсом, точного определения положения посадочной платформы на поверхности Марса. LARA использует радиоканал Земля – Марс, и для его функционирования требуется координация с наземными станциями дальней связи.

НАВИТ. Прибор НАВИТ (Швеция) предназначен для определения условий обитаемости: поиска воды в атмосфере, изучения УФ-излучения и определения температуры и влажности. НАВИТ рассчитан на работу в условиях открытого космического пространства и устанавливается на краю платформы посадочного модуля.

Приборы LARA и HABIT были разработаны и поставлены европейской стороной, которая также участвовала в создании приборов МТК, АДРОН-ЭМ, МЭГРЭ и ПК.

На борту марсохода установлена научная аппаратура «Пастер» (Pasteur), состоящая из девяти приборов (из них два прибора – ИСЕМ и АДРОН-РМ – разработки ИКИ РАН). Главная цель исследований с борта марсохода – непосредственное изучение поверхности и атмосферы Марса в окрестности места посадки, поиск соединений и веществ, которые могли бы свидетельствовать о возможном существовании жизни на планете.

PanCam (Panoramic Camera, Великобритания). Панорамная камера PanCam предназначена для поиска данных о породах, которые могут быть связаны с существованием жизни на Марсе. Задачами панорамной камеры являются: определение места посадки и положения марсохода относительно местных географических ориентиров; обеспечение геологического контекста исследуемых марсоходом районов; выбор наиболее пригодных мест для проведения экзобиологических исследований; получение стерео- и 3D-образов окружающей марсоход местности для изучения свойств атмосферы и других переменных явлений. PanCam должна была обеспечить поддержку научных измерений других приборов марсохода, получить снимки высокого разрешения труднодоступных мест, в частности кратеров. Прибор также должен был осуществлять контроль за образцами породы после их извлечения из грунта бурильной установкой (DRILL) до помещения внутрь марсохода и дробления с целью последующего детального химического, физического и спектрального анализа приборами аналитической лаборатории.

ISEM/ИСЕМ (Infrared Spectrometer, ИКИ РАН). Инфракрасный спектрометр ИСЕМ предназначен для исследования минералогического состава грунта. Научными задачами прибора ИСЕМ являются: измерения ИК-спектров отдельных участков поверхности, окружающей марсоход, а также наиболее интересных объектов в непосредственной близости от марсохода; поиск совместно со стереокамерой PanCam потенциальных геологических мишеней, представляющих наибольший научный интерес для осуществления бурения по трассе марсохода; измерения спектров пропускания атмосферы и восстановление по ним атмосферных характеристик.

CLUPI (CLose-UP Imager, Швейцария). Камера CLUPI предназначена для получения крупным планом с высоким разрешением цветных снимков пород, выходов пластов на поверхность, образцов грунта, взятых с помощью бурильной установки. Прибор должен был исследовать геологические типы отложений, микротекстуру пород, а также искать морфо-

логические биомаркеры. Разрешение камеры с расстояния в 50 см составит 20 микрон/пиксел.

WISDOM (Water Ice and Subsurface Deposit Observation on Mars, Франция). Радар WISDOM УВЧ-диапазона (0,5–3,0 ГГц) предназначен для зондирования грунта на глубину до 3 м, поиска льда и подповерхностных отложений. Основные научные задачи прибора: исследование геологии и геологической эволюции района посадки; получение данных об основных физических характеристиках местных пород, в том числе их слоистости и структуре; исследование электромагнитных свойств марсианского грунта; картографирование приповерхностных слоёв; исследование местного распределения уплотнённых осадочных отложений, которые могут указывать на существование в прошлом условий окружающей среды, связанных с большим содержанием воды. WISDOM должен был использоваться совместно с российским прибором АДРОН-РМ для выбора мест для сбора подповерхностных образцов для анализа (определения оптимальных мест для бурения). Прибор должен был проводить высокоточные измерения с вертикальным разрешением в несколько сантиметров вплоть до глубины в три метра, дополнив исследование с помощью бурильной установки марсохода до двухметровой глубины.

ADRON-RM/АДРОН-РМ (ИКИ РАН). Нейтронный спектрометр АДРОН-РМ предназначен для поиска расположенного на глубине до одного метра подповерхностного водорода, представленного в адсорбированной воде, водяном льде, соединениях ОН и/или H₂O, в гидратных минералах посредством регистрации нейтронного альbedo, генерируемого космическими лучами в грунте вдоль трассы движения марсохода. Планировалась совместная работа прибора с радаром WISDOM и прибором АДРОН-ЭМ, установленным на посадочной платформе.

Ma_MISS (Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies, Италия). Мультиспектральная камера с ИК-спектрометром Ma_MISS предназначена для анализа минералогического состава поверхностного и подповерхностного слоёв грунта. Ma_MISS должен был получать снимки стенок пробуренных бурильной установкой марсохода скважин для изучения марсианской минералогии и горных пород. Это позволило бы получить ценную информацию для изучения подповерхностных слоёв грунта и пластов породы (стратиграфия), распределения и состояния связывающих воду минералов, охарактеризовать геофизическую обстановку на Марсе.

MicrOmega (Microscope for hyperspectral imaging, Франция). Спектрометр видимого и ИК-диапазонов MicrOmega предназначен для определения минералогического и молекулярного состава образцов, собранных бурильной установкой марсохода, их отбора

для дальнейшего анализа. Прибор включает в себя цветной микроскоп с разрешением 4 мкм и инфракрасный гиперспектральный детектор с 500 каналами.

RLS (Raman Laser Spectrometer, Испания). Рамановский спектрометр RLS предназначен для изучения фазового и элементного состава образцов методами рамановской и лазерной спектроскопии. Лазерный спектрометр позволяет обнаруживать органические соединения и минеральные индикаторы биологической активности, получать данные по возможным органическим соединениям, которые могут быть связаны с признаками существования жизни на Марсе в настоящем или прошлом, а также общую минералогическую информацию по магматическим, метаморфическим и седиментационным процессам, в особенности по геопроцессам, связанным с водой. Прибор будет использоваться для идентификации органических соединений и поиска признаков жизни, идентификации продуктов минерального происхождения и индикаторов биологической активности, описания минеральных фаз, созданных связанными с водой процессами, описания магматических минералов и связанных с процессами их изменения (например, окисления) продуктов.

МОМА (Mars Organic Molecule Analyser, Германия). Анализатор органических молекул МОМА – наиболее крупный прибор марсохода – представляет собой комплекс масс-спектрометров и непосредственно предназначен для поиска биомаркеров. Основные задачи прибора – обнаружение даже очень малых концентраций органических молекул и установление их биотического или абиотического происхождения путём молекулярной идентификации с использованием в качестве критерия хиральности молекул. В дополнение к изучению образцов, собираемых бурильной установкой, прибор МОМА должен был осуществлять анализ газов марсианской атмосферы.

Приборы MicrOmega, RLS и МОМА размещены в блоке аналитической лаборатории (Analytical Laboratory Drawer – ALD), установленной внутри корпуса марсохода. Они предназначены для проведения анализа в сверхчистых условиях образцов грунта, взятых с поверхности Марса и из поверхностного слоя с помощью бурильной установки и последовательно обработанных с помощью комплекса механизмов (система подготовки и распределения образцов – SPDS (Sample Preparation and Distribution System)). Приборы PanCam и ИСЕМ размещены на развёртываемой мачте, WISDOM – на задней части шасси, АДРОН-PM – на внешней стороне корпуса марсохода, приборы Ma_MISS и CLUPI – непосредственно на бурильной установке.

К середине марта 2022 года подготовка отчётной документации для обеспечения полной проверки выполнения заданных требований по российским и по

европейским стандартам, испытания составного КА и его составных частей находились на завершающей стадии. С 5 апреля 2022 года предполагалось приступить к реализации пусковой компании на космодроме Байконур.

17 марта 2022 года генеральный директор ЕКА заявил о приостановке сотрудничества с Госкорпорацией «Роскосмос» в реализации второго этапа проекта «ЭКЗОМАРС».

Дальнейшая реализация проекта по исследованию Марса с использованием российской посадочной платформы, в том числе с возможным международным участием, будет определена Госкорпорацией «Роскосмос». АО «ЦНИИМаш» готов продолжать тесное сотрудничество с АО «НПО Лавочкина» при реализации проектов по исследованию Марса.

список литературы

URL: <https://www.roscosmos.ru/23050/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 16.12.2016: «ЭКЗОМАРС. Готовность к миссии «ЭКЗОМАРС-2020» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/25225/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 22.06.2018: «ЭКЗОМАРС-2020. Испытания тепловой защиты десантного модуля в ЦНИИМаш» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/27837/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 05.12.2019: «Научная аппаратура посадочной платформы EXOMARS-2020 доставлена в ESA» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/28173/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 12.03.2020: «Миссия «ЭКЗОМАРС» стартует к Марсу в 2022 г.» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/30349/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 14.03.2021: «5 лет российско-европейской миссии EXOMARS-2016» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/32080/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 03.08.2021: «Россия показывает новые возможности управления в дальнем космосе» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/33038/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 19.10.2021: «EXOMARS 2016 пять лет на орбите вокруг Марса» (дата обращения: 01.04.2022).

URL: <https://www.roscosmos.ru/33053/> – Новости Госкорпорации «Роскосмос» от 20.10.2021: «Что мы узнали о Марсе в тридцать пятый марсианский год» (дата обращения: 01.04.2022).

Статья поступила в редакцию 06.04.2022

Статья после доработки 06.04.2022

Статья принята к публикации 06.04.2022

СОДРУЖЕСТВО НПО ИМЕНИ С.А. ЛАВОЧКИНА И ЦЕНТРА КЕЛДЫША – ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

THE CONCORD OF THE LAVOCHKIN ASSOCIATION, JSC AND THE KELDYSH RESEARCH CENTER – YESTERDAY, TODAY, TOMORROW



В.В. Кошлаков¹,
доктор технических наук,
профессор,
kerc@elnet.msk.ru;
V.V. Koshlakov

Представлен обзор основных результатов тесного взаимодействия НПО имени С.А. Лавочкина и Исследовательского центра имени М.В. Келдыша при создании авиационной, ракетной и космической техники. Намечены пути дальнейшего плодотворного сотрудничества.

Ключевые слова: реактивные снаряды; реактивные и ракетные двигатели; межконтинентальная крылатая ракета; автоматические межпланетные станции; исследование Луны, Марса и Венеры; полёты в дальний космос.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.006

An overview of the main results of close interaction between the Lavochkin Association and the Keldysh Research Center in creating aviation, rocket and space technics is presented. Ways of a further fruitful cooperation are outlined.

Keywords: missiles; jet and rocket engines; intercontinental winged missile; automatic interplanetary stations; exploration of the Moon, Mars and Venus; flights to the deep space.



¹ АО ГНЦ «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», Россия, г. Москва.

JSC SSC «Keldysh Research Center», Russia, Moscow.

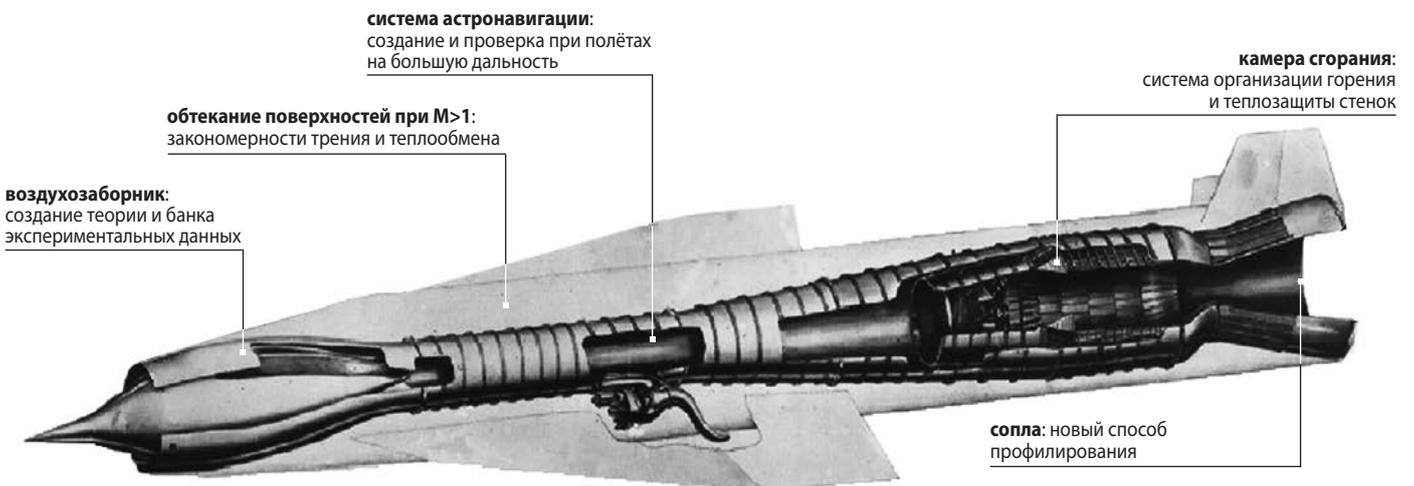


рисунок 1. Истребитель «ЛаГГ-3» с реактивными снарядами НИИ-3

85 лет со дня своего образования отмечает Научно-производственное объединение имени Семёна Алексеевича Лавочкина – ведущее российское предприятие по созданию и практическому использованию уникальных научных космических комплексов мирового уровня. Долгий плодотворный путь этого предприятия включает три этапа: авиационный, ракетный и космический (Ефанов В.В. и др., 2017). И весь этот

путь отмечен успешным взаимодействием наших предприятий (Головин Ю.М., Гафаров А.А., 2012; Гафаров А.А. и др., 2015; Гафаров А.А. и др., 2017).

Начало сотрудничеству было положено в 1939 году, в период разработки в ОКБ авиационного завода № 301 первенца предприятия – истребителя «ЛаГГ-3». При проектировании «ЛаГГ-3» была предусмотрена установка на нём реактивных снарядов,



первый СПВРД на жидком топливе (1950)

лётные испытания ракеты с СПВРД (1951)

создание стендов для исследования моделей СПВРД и его элементов (1948–1953)

разработаны методы (1955) и построены стенды (1956–1957) для наземных испытаний натурного СПВРД (показан на схеме) ракеты «Буря»

рисунок 2. Приоритетные работы НИИ-1 по созданию МКР «Буря»

разработанных в НИИ-3 Наркомата боеприпасов СССР, как в то время назывался созданный в 1933 году первый в мире Реактивный научно-исследовательский институт – РНИИ, преемником которого в настоящее время является акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (АО ГНЦ «Центр Келдыша»). Вооружённые реактивными снарядами калибра 82 мм истребители «ЛаГГ-3» (рисунок 1) в период Великой Отечественной войны успешно действовали как по воздушным, так и по наземным целям (Резниченко С.Н., 2007).

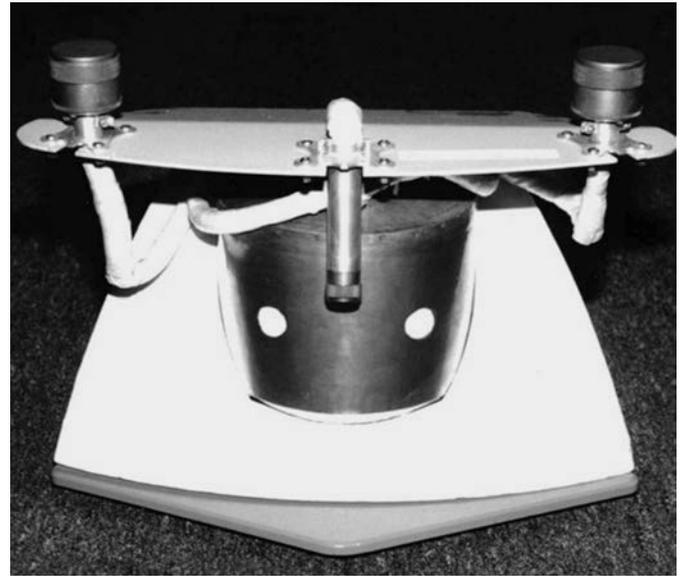
В феврале 1944 года НИИ-3 был преобразован в Научно-исследовательский институт реактивной авиации (НИРА), более известный как НИИ-1 Наркомата авиационной промышленности. С этого момента и по настоящее время наши предприятия сотрудничают в одних и тех же ведомствах.

В НИИ-1 были сосредоточены коллективы конструкторов по реактивным двигателям, возглавляемые В.П. Глушко, А.М. Исаевым, Л.С. Душкиным, М.М. Бондарюком, А.М. Люльки (Исследовательский центр имени М.В. Келдыша, 2003). Под руководством В.П. Глушко, А.М. Исаева, Л.С. Душкина создавались жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) в качестве ускорителей для самолётов. Экспериментальный истребитель «120 Р» разработки ОКБ С.А. Лавочкина с двигателем РД-1 ХЗ конструкции В.П. Глушко принял участие в авиационном параде в Тушино 18 августа 1946 года (НПО им. С.А. Лавочкина, 2022).

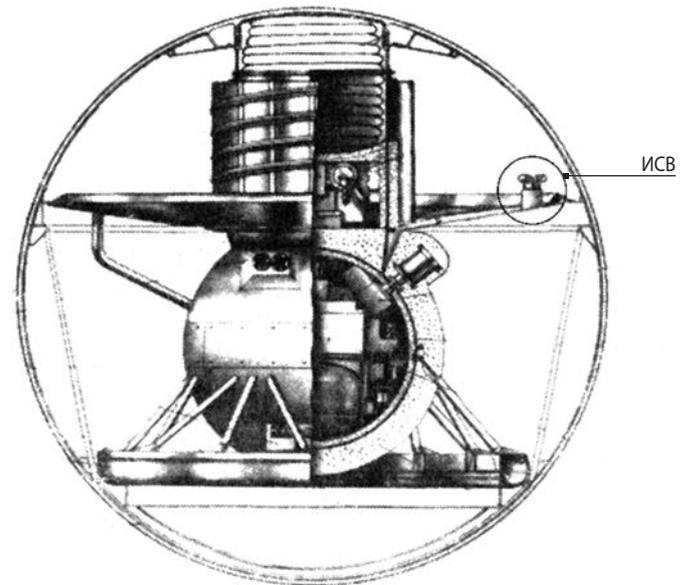
Ещё в 1941–1942 годах на самолётах «ЛаГГ-3» проводились опыты с установленными на них прямоточными воздушно-реактивными двигателями (ПВРД), разработанными М.М. Бондарюком совместно с Г.А. Варшавским. В НИИ-1 под руководством М.М. Бондарюка был разработан ПВРД РД-130, который на самолёте «Ла-126» (модернизации «Ла-7»)

обеспечил прирост скорости 64 км/час. А при заводских испытаниях в марте – августе 1947 года самолёта «Ла-138» также с двумя ПВРД РД-430 прирост скорости составил 110 км/час. Созданные под руководством М.М. Бондарюка в конце 1940-х годов ПВРД использовались на запускавшихся с самолёта-носителя «Ту-4» самолётах-мишенях и фоторазведчиках «Ла-17», которые в течение почти 40 лет выпускались по 500–600 штук в год.

Проведённые в НИИ-1 ещё в 1944 году испытания созданного под руководством А.М. Люльки первого отечественного турбореактивного двигателя ТР-1



а



б

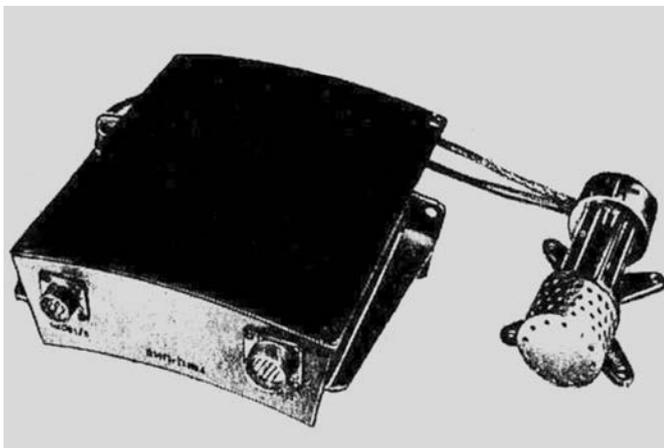
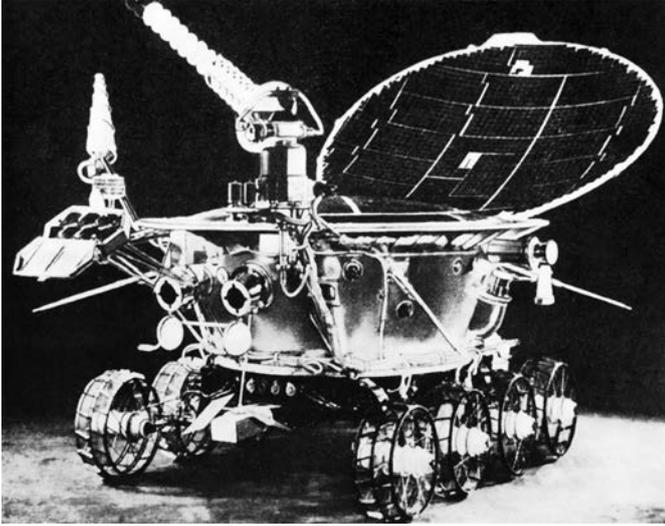


рисунок 3. Прибор ВИП для регистрации параметров атмосферы Венеры

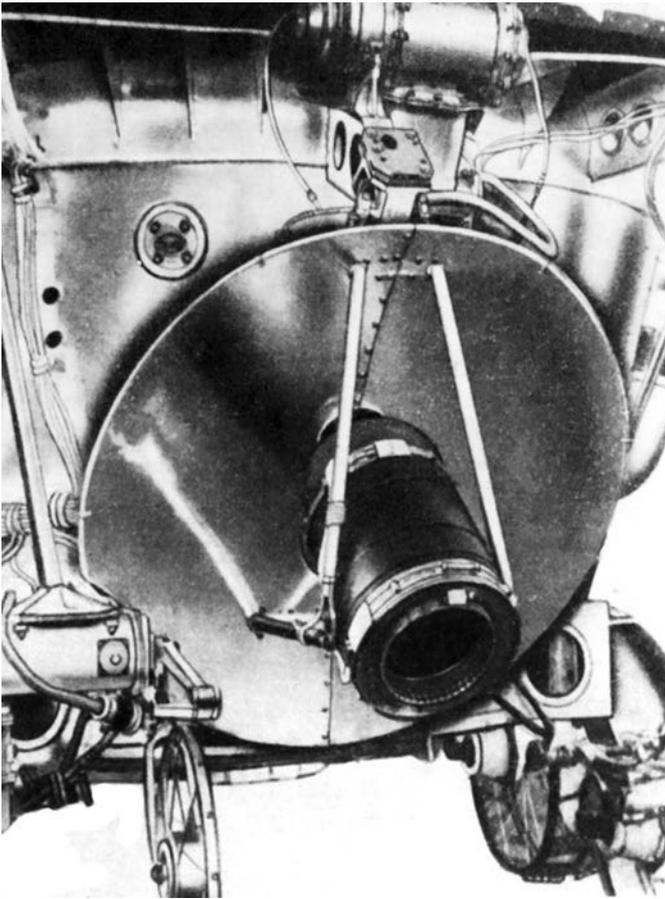
а – фотометр ИОВ-75; **б** – ИСВ на СА АМС «ВЕНЕРА».

рисунок 4. Аппаратура разработки НИИТП для исследования Венеры

(С-18) оригинальной схемы обеспечили его успешную доработку и сдачу в серийное производство, что стало основой для создания реактивных самолётов нового поколения, в том числе в ОКБ С.А. Лавочкина.



а



б

а – общий вид «ЛУНОХОДА»;
б – радиоизотопный блок обогрева.

рисунок 5. «ЛУНОХОД» с радиоизотопным блоком обогрева

Ракетный этап в деятельности НПО им. С.А. Лавочкина начался в сентябре 1950 года, когда ОКБ С.А. Лавочкина постановлением правительства было назначено разработчиком зенитной управляемой ракеты (ЗУР) для системы ПВО г. Москвы С-25. Эта система была принята на вооружение и около 30 лет несла боевое дежурство. Следующим шагом в области ракетостроения было создание ЗУР «400» для системы ПВО «Даль».

Вершиной деятельности предприятия в области ракетостроения стало создание межконтинентальной крылатой ракеты (МКР) «Буря». В соответствии с принятым в мае 1954 года постановлением правительства главным конструктором «Бури» был назначен С.А. Лавочкин, главным конструктором ЖРД разгонной ступени – А.М. Исаев, главным конструктором сверхзвукового ПВРД (СПВРД) маршевой ступени – М.М. Бондарюк. Коллективы А.М. Исаева и М.М. Бондарюка незадолго до этого выделились из НИИ-1 в самостоятельные ОКБ.

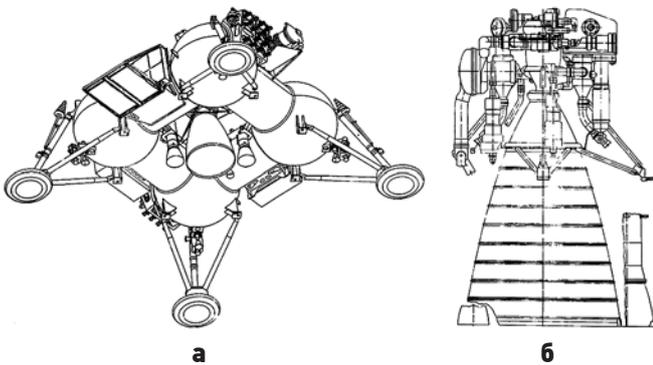
В основу постановления о создании МКР «Буря» легли результаты выполненных в НИИ-1 под руководством академика М.В. Келдыша научно-исследовательских, экспериментальных и опытно-конструкторских работ, в том числе по летательным аппаратам со сверхзвуковым ПВРД (СПВРД). М.В. Келдыш возглавил НИИ-1 в декабре 1946 года и в соответствии с постановлением был назначен научным руководителем разработки МКР «Буря». Под его руководством коллектив НИИ-1 внёс большой вклад в создание этой ракеты (рисунок 2) (*Исследовательский центр имени М.В. Келдыша*, 2003).

МКР «Буря» прошла лётные испытания в 1957–1960 годах, но на вооружение не была принята из-за создания межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 в ОКБ С.П. Королева (*Евстафьев М.Д.*, 1999). Вместе с тем научные и технические результаты, полученные при разработке «Бури», построенная экспериментальная база нашли применение не только при создании последующих ракет с СПВРД, но и при создании космической техники на следующем этапе деятельности НПО имени С.А. Лавочкина. Это название (научно-производственное объединение) предприятие получило в составе организованного в 1965 году Министерства общего машиностроения (МОМ), где под руководством Георгия Николаевича Бабакина стало головной организацией по созданию автоматических межпланетных станций (АМС) для исследования Луны, Венеры, Марса, а также искусственных спутников Земли научного и прикладного назначения.

Наше предприятие под названием НИИ тепловых процессов (НИИТП), помимо того, что являлось головным научно-исследовательским предприятием МОМ по ракетным двигателям и космической энергетике,

занималось также тепловыми режимами, теплозащитной и приборным обеспечением изделий ракетно-космической техники. Это послужило основой для тесного взаимодействия обоих предприятий при реализации целого ряда научных программ (Головин Ю.М., 2014; Гафаров А.А. и др., 2015).

Под научным руководством заместителя начальника НИИТП, будущего академика В.С. Авдуевского были решены сложные проблемы обеспечения тепловых режимов, теплозащиты и разработки бортовой аппаратуры для АМС «ВЕНЕРА» (*Исследовательский центр имени М.В. Келдыша*, 2003). В 1967–1969 годах были запущены АМС «ВЕНЕРА-4, -5, -6», на спускаемых аппаратах которых с помощью созданного в НИИТП прибора ВИП (рисунок 3) были проведены измерения температуры, давления и плотности атмосферы. Эти измерения явились ключевыми для понимания физики атмосферы планеты, создания первой модели атмосферы и принятия важных конструктивных решений при проектировании АМС «ВЕНЕРА» следующих поколений. Среди удостоенных в 1970 году звания лауреатов Ленинской премии за комплекс работ по созданию АМС «ВЕНЕРА» и проведённые на них исследование был и В.С. Авдуевский.



а – посадочная платформа; **б** – ЖРД С5.154.

рисунок 6. ЖРД С5.154 разработки КБХМ с сопловым насадком для КТДУ посадочной платформы КА «ЛУНА-ГЛОБ», «ЛУНА-РЕСУРС», «ЛУНА-ГРУНТ»

В 1970 году перед НИИТП была поставлена задача разработки аппаратуры для измерения освещённости в атмосфере и на поверхности планеты Венера. Условия работы аппаратуры отличались чрезвычайной жёсткостью: температура 770 К, давление до 10 МПа, перегрузка на участке торможения 400 g. Впервые оптические измерения в условиях горячей плотной атмосферы Венеры были осуществлены 22 июля 1972 года на АМС «ВЕНЕРА-8» с помощью созданного в НИИТП измерителя освещённости ИОВ-72. Это позволило получить принципиально важные пионерские результаты – впервые была измерена освещённость на поверхности Венеры.

На АМС нового поколения «ВЕНЕРА-9 и -10» была установлена более сложная и совершенная фотометрическая аппаратура ИОВ-75 (рисунок 4а), разработанная также в НИИТП. С помощью этой аппаратуры 22 и 25 октября 1975 года были успешно осуществлены фотометрические эксперименты как в атмосфере, так и на поверхности Венеры.

С борта СА АМС «ВЕНЕРА-9 и -10» с помощью анемометрической системы измерения – прибора ИСВ (рисунок 4б), созданного в НИИТП, впервые были проведены измерения скорости ветра на поверхности планеты, составившей 0,5–1 м/с.

Результаты исследований на АМС «ВЕНЕРА-8 и -9» получили мировое признание (*Авдуевский В.С. и др.*, 1976), а среди удостоенных Ленинской премии был начальник НИИТП В.Я. Лихущин.

Свой вклад сотрудники НИИТП внесли и в успешное выполнение «лавочкинцами» лунной программы. На стендах НИИТП проводились тепловые испытания и отработка капсулы для доставки лунного грунта на Землю. Разработанные в НИИТП шнековые испарители успешно использовались в составе системы терморегулирования автоматических станций,



рисунок 7. Разработанный КБХМ маршевый 4-камерный ЖРД 255Д на посадочной платформе десантного модуля международной миссии «ЭКЗОМАРС»

работавших на поверхности Луны, в том числе «ЛУНОХОДОВ». Расчётными и экспериментальными исследованиями НИИТП была обоснована конструкция теплозащиты для радиоизотопного блока обогрева «ЛУНОХОДА» (рисунок 5), которая обеспечивала сохранение целостности ампул с радиоизотопом полоний-210 даже при аварийном возвращении на Землю со второй космической скоростью. НИИТП была также обоснована конструкция теплозащиты ампул с радиоизотопом плутоний-238, которые входили в состав источников энергии на АМС «МАРС-96» (*Исследовательский центр имени М.В. Келдыша*, 2003).

На КА, созданных в НПО им. С.А. Лавочкина, успешно использовались разработанные в НИИТП гидразиновые газогенераторы для ДУ систем ориентации и стабилизации. Многие годы на стенде СТВИ НИИТП и Центра Келдыша проводились тепловакуумные испытания фрагментов КА, бортовой аппаратуры и агрегатов разработки НПО имени С.А. Лавочкина, что обеспечило высокую надёжность их эксплуатации.

В 1988–2017 годах сначала НИИТП, а затем Центром Келдыша руководил академик А.С. Коротеев, который в настоящее время является научным руководителем нашего предприятия. В этот период Центр Келдыша активно включился в реализацию перспективной программы НПО имени С.А. Лавочкина по созданию автоматических КА нового поколения для фундаментальных научных исследований (Хартов В.В., 2011). В частности, уже на первом этапе работ по этой программе применительно к КА для исследования и освоения Луны специалистами Центра были выполнены расчёты теплового состояния элементов конструкции двигателей и двигательного отсека КА «ЛУНА-ГЛОБ» (Головин Ю.М., Гафаров А.А., 2012).

В 2013 году по договору с КБХМ в Центре Келдыша были проведены расчёты удельного импульса тяги, расходного комплекса и температуры радиационно охлаждаемого соплового насадка ЖРД С5.154, предназначенного для КТДУ разрабатываемой НПО имени С.А. Лавочкина посадочной платформы для лунных КА нового поколения (рисунок 6). Была также выполнена оптимизация контура сопла для повышения удельного импульса тяги этого ЖРД (Гафаров А.А. и др., 2017).



а



б

а – без НРО; б – с НРО длиной 200 мм.

рисунок 8. Маршевый ЖРД С5.92, используемый на МКБФ

Перспективный проект «ЛУННАЯ БАЗА» включает в себя серию экспедиций с доставкой к Луне и на её поверхность различных полезных грузов (НПО им. С.А. Лавочкина, 2022). Центр Келдыша может принять участие в разработке энергетических модулей, стационарных научных и технических модулей, а также двигательной установки выведения для разгона с опорной околоземной орбиты и взлётной ракеты для доставки грузов с поверхности Луны на Землю.

При формировании программы дальнейших работ по исследованию и освоению Луны представляется целесообразным включение в эту программу разработанного специалистами Центра Келдыша предложения по созданию КА-демонстратора с солнечной электроракетной двигательной установкой для демонстрации перспективных технологий по транспортировке грузов на окололунную орбиту. Космический эксперимент может быть проведён с использованием РН среднего класса «Союз-5» и РБ «Фрегат-СБУ» (Кошляков В.В. и др., 2021).

Применительно к созданию КА для исследования Марса в 2015 году в Центре Келдыша по договору с КБХМ были выполнены расчёты удельного импульса тяги, расходного комплекса, тяги и температур радиационно охлаждаемых стенок камеры четырёхкамерного маршевого, работающего на продуктах каталитического разложения гидразина ЖРД 255Д, предназначенного для разрабатываемой НПО имени С.А. Лавочкина посадочной платформы десантного модуля международной миссии «ЭКЗОМАРС», которую намечено осуществить в 2022–2023 годах (рисунок 7). Была проведена также оптимизация контура сопла (Гафаров А.А. и др., 2017).

Космический комплекс, предназначенный для доставки образцов вещества Фобоса на Землю (КК «Бу-меранг»), является первым этапом перспективной ОКР «ЭКСПЕДИЦИЯ-М» (МАРС-ГРУНТ) по исследованию Марса и его спутников – Фобоса и Деймоса, а также по доставке образцов грунта на Землю (НПО им. С.А. Лавочкина, 2022). Центр Келдыша готов принять участие в разработке всех составных частей этого КК.

После многолетнего перерыва вновь рассматривается вопрос о возобновлении полётов АМС к Венере. Как заявил 29 ноября 2021 года генеральный директор «Роскосмоса» Дмитрий Рогозин, Россия планирует отправить в ноябре 2029 года к Венере автоматическую станцию «ВЕНЕРА-Д», состоящую из орбитального и посадочного аппаратов для комплексного изучения атмосферы Венеры, её поверхности, внутреннего строения и окружающей плазмы. Программа исследования Венеры включает еще две миссии: в июне 2031 года – для продолжения исследования атмосферы планеты, в июне 2034 года –

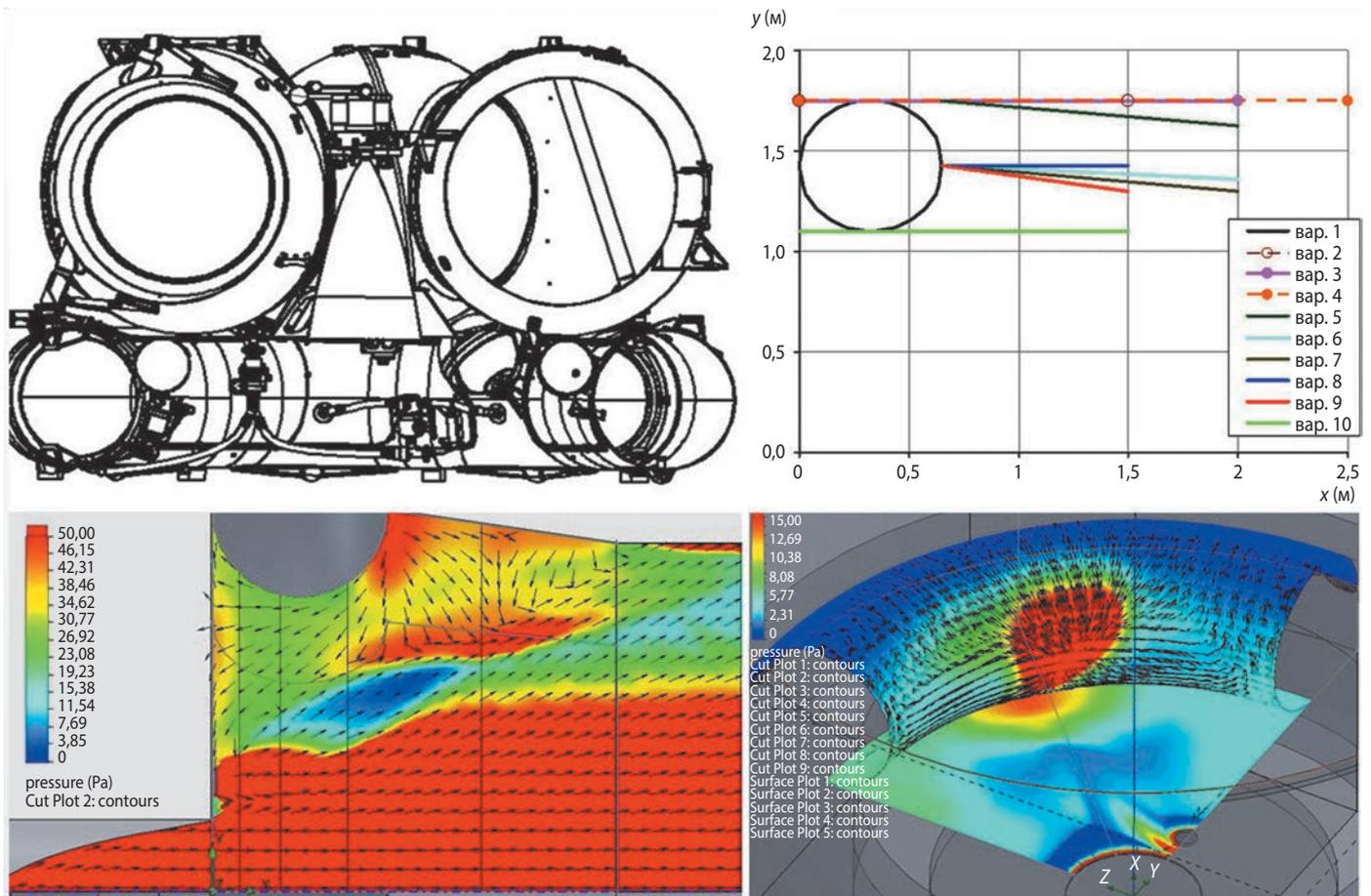


рисунок 9. МКБ «Фрегат-СБ» с предложенным КБХМ разворачиваемым гибким донным насадком, рассчитанные картины течения и давления на поверхностях МКБ и донного насадка

для доставки на Землю образцов атмосферы, аэрозолей и, возможно, грунта с Венеры (*Рогозин призвал запустить станцию к Венере до 2030 года*, 2021). Работа по проекту 2034 года уже началась. Центр Келдыша по заданию НПО имени С.А. Лавочкина участвует в обосновании и разработке рационального состава и основных характеристик твёрдотопливного взлётного модуля для доставки на Землю образцов грунта, атмосферы и аэрозолей Венеры.

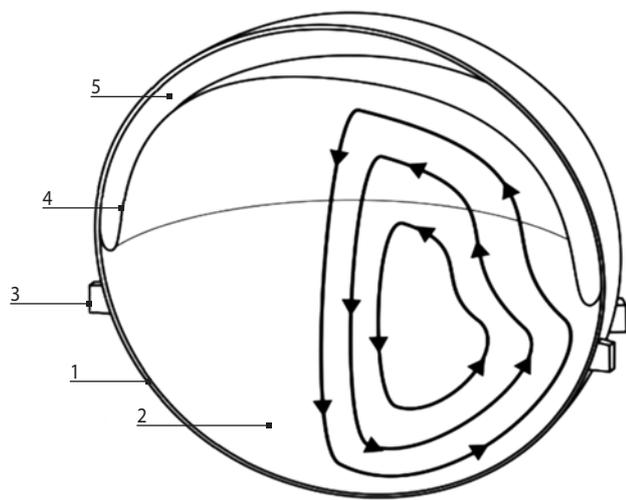
Совместно успешно решаются вопросы сертификации на соответствие международным требованиям по обеспечению радиационной безопасности при использовании радиоизотопной энергетики на перспективных АМС разработки НПО имени С.А. Лавочкина (*Гафаров А.А., Долгуничев К.Д.*, 2016).

Свой вклад сотрудники Центра Келдыша внесли и в совершенствование созданного в НПО имени С.А. Лавочкина разгонного блока (межорбитального космического буксира) «Фрегат» (МКБФ) для выведения околоземных и межпланетных КА. В составе МКБФ используется маршевый двигатель С5.92, разработанный КБХМ имени А.М. Исаева (КБХМ) для разгонных блоков и межорбитальных космических буксиров (РБ и МКБ) различного

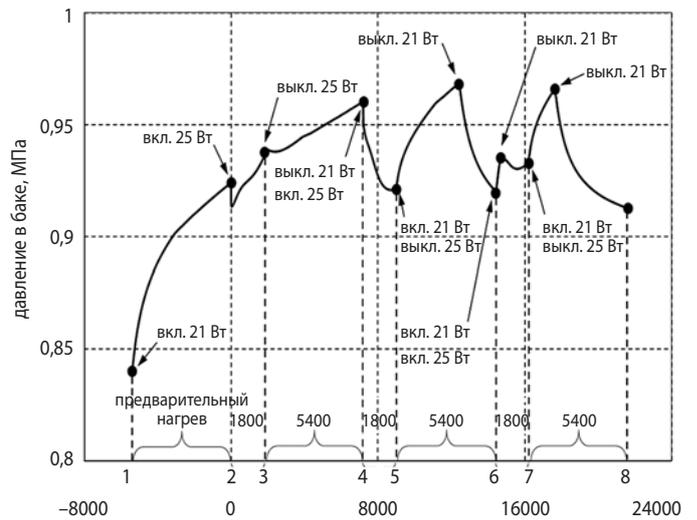
назначения (рисунок 8а). Для повышения удельного импульса тяги этого ЖРД Центром Келдыша в 2000 году был спроектирован металлический радиационно охлаждаемый сопловой насадок (НРО) длиной 200 мм (с сохранением существующей регенеративно охлаждаемой части сопла) (рисунок 8б). Насадок обеспечил прирост удельного импульса тяги на 2,6 с, подтверждённый всей дальнейшей эксплуатацией (более 40 полётов) этого ЖРД на различных МКБ. В настоящее время этот НРО устанавливается на всех модификациях этого ЖРД.

С целью оценки возможности преодоления дефицита массы ~100 кг на МКБФ Центром Келдыша выполнялись также работы по профилированию для этого ЖРД НРО длиной до 500 мм, обеспечивающих прирост удельного импульса тяги до 5,4 с.

В 2005 году Центром Келдыша по заданию НПО имени С.А. Лавочкина была проведена оптимизация сопла этого двигателя со сбросом генераторного газа не в окружающее пространство, а в расширяющуюся часть сопла через кольцевое сопло вдува, от которого начинался НРО. В результате было получено, что прирост удельного импульса тяги двигателя составит 4,3 с при увеличении длины сопла на 200 мм



а



б

а – схема бака ДУ КА:

1 – стенка, 2 – топливная полость,

3 – элементы крепления,

4 – диафрагма, 5 – полость наддува;

б – изменение давления газа наддува при работе нагревательной системы.

рисунок 10. Схема бака ДУ КА и изменение давления газа наддува при работе нагревательной системы

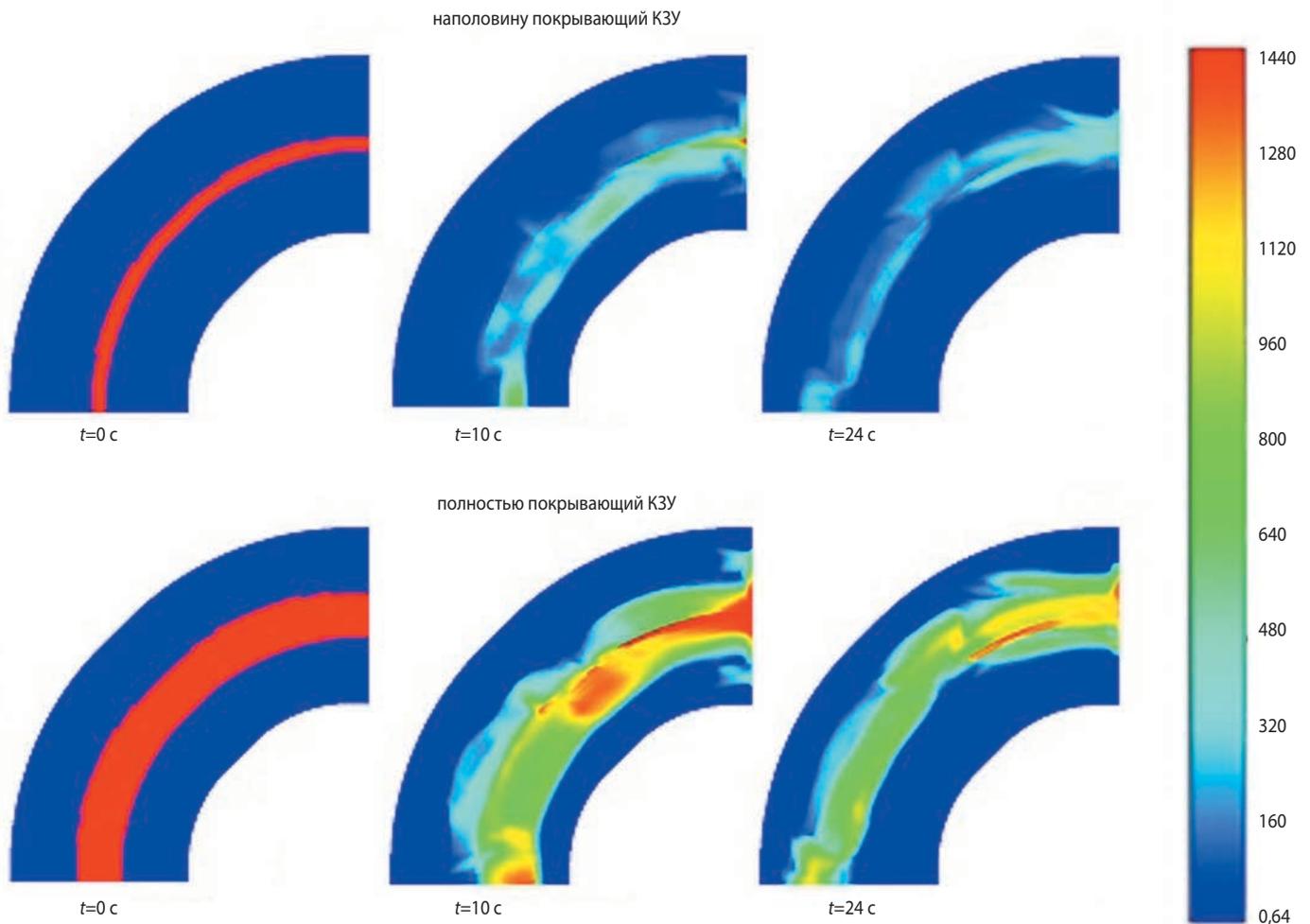


рисунок 11. Поле плотности в баке с КЗУ для разных степеней заполнения (вид снизу, направление качания слева направо)

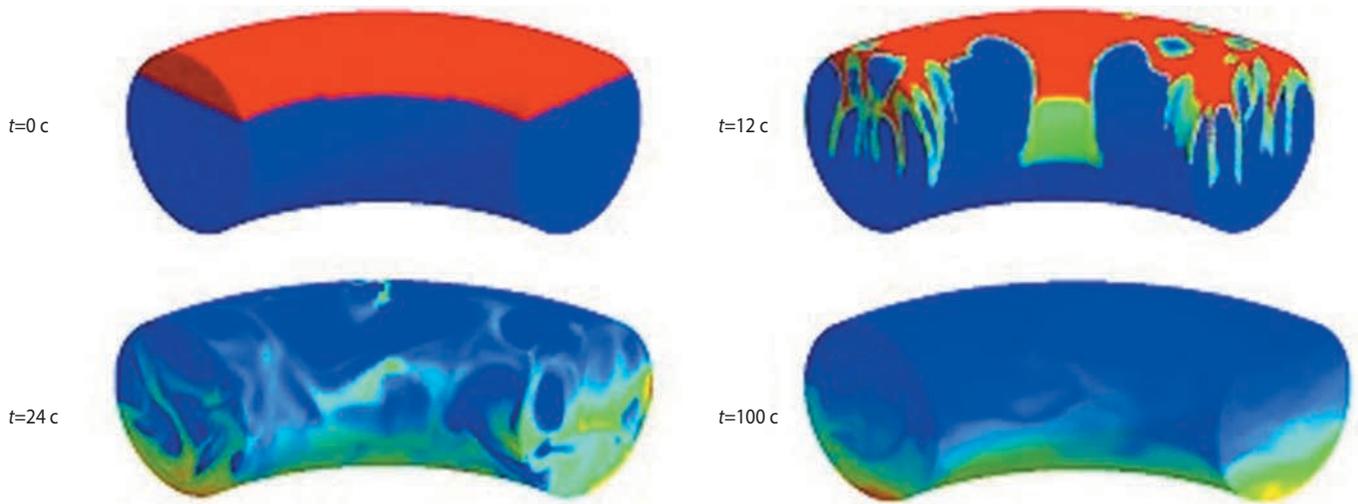


рисунок 12. Изменение плотности гелия и тетраоксида азота в баке под действием перегрузки

и 7,3...7,4 с – при увеличении длины сопла на 500 мм (Гафаров А.А. и др., 2015).

В 2010 году в Центре Келдыша было выполнено расчётное исследование возможности повышения удельного импульса тяги маршевой ДУ МКБ «Фрегат» и «Фрегат-СБ» с помощью предложенного КБХМ гибкого донного насадка, разворачиваемого от донного экрана или от тороидального бака на донном экране (рисунок 9) (Пономарёв Н.Б., Морозов В.И., 2015). В результате были определены оптимальные форма и длина такого насадка, а также воздействие струй маршевой камеры и сопел сброса генераторного газа на тороидальный бак МКБ «Фрегат-СБ» и донный насадок. Показано, что оптимальный донный насадок позволяет увеличить удельный импульс тяги ДУ этих МКБ на ~3...5 с при длине донного насадка 2 м и на ~9,5 с при такой же длине НРО (Гафаров А.А. и др., 2017).

Специалисты Центра Келдыша (ведущий специалист кандидат физико-математических наук И.В. Лаптев) принимают активное участие в научно-техническом сопровождении разработок НПО им. С.А. Лавочкина в части математического моделирования процессов тепломассообмена, реализующихся в баках КА и разгонных блоков (РБ).

Одной из таких задач, потребовавших применения современных подходов в компьютерном моделировании, является задача определения режимов работы нагревательных элементов, обеспечивающих корректное функционирование испарительной системы наддува бака двигательной установки КА. В рамках данной задачи рассматривался сферический бак (рисунок 10а), закреплённый на термостабилизирующей платформе (ТСП).

Внутри бака находилась диафрагма, разделявшая его на две части – топливную полость и полость наддува. В топливной полости находился гидразин.

В качестве рабочего тела наддува выступал сжиженный пропан. Для поддержания требуемого давления паров пропана на внешней поверхности стенки области наддува располагались шесть электрических нагревателей: три нагревателя общей мощностью 21 Вт и три нагревателя общей мощностью 25 Вт. Изменение объёма топлива за счёт отбора определялось циклограммой работы двигательной установки.

Целью моделирования являлось прогнозирование количества конденсируемого газа в наддувной полости и потребное количество тепла, необходимое для поддержания заданного уровня давления в баке при выбранной циклограмме работы изделия. На рисунке 10 б представлена динамика изменения давления в баке, полученная в результате моделирования.

В продолжение численного исследования внутрибаковых процессов в Центре Келдыша проводилось моделирование динамики жидкого компонента в объёме увеличенного сбрасываемого тороидального блока баков при движении разгонного блока «Фрегат-СБУ» по траектории с учётом его качания и на этапе работы двигательной установки системы обеспечения запуска (ДУ СОЗ) перед включением маршевого двигателя.

В рамках первой задачи требовалось определить минимальный запас топлива в сбрасываемом блоке баков для безопасного запуска маршевой двигательной установки (МДУ) в режиме большой и малой тяг, а также для безопасного перехода с большой тяги на малую для двух типов заборных устройств: заборное устройство с воронкогасителем и капиллярное заборное устройство (КЗУ).

Для определения уровня жидкости в баке, обеспечивающего безопасный запуск МДУ, задавалось качание бака с амплитудой $\varphi_0=1^\circ$ и частотой $f=0,125$ Гц. Перегрузка соответствовала работе четырёх двигателей СОЗ.

На рисунке 11 изображены расчётные поля плотности в донной части бака с КЗУ. Из результатов моделирования получено, что при уровнях жидкости в баке, полностью покрывающих КЗУ, площадь, омываемая жидкостью, на большем интервале времени составляет не менее половины общей площади поверхности КЗУ, что обеспечивает безопасный запуск МДУ. Меньшие степени заполнения не позволяют обеспечить условия «безгазового» забора топлива.

Для решения второй задачи – определения времени осаждения топлива на дно бака – предполагалось, что в начальный момент времени СБУ заполнен газобразным гелием и жидким компонентом ракетного топлива, топливо расположено в верхней части СБУ и занимает 25% суммарного объёма бака. Содержимое бака испытывало перегрузку \bar{g} , направленную вдоль оси РБ. Величина перегрузки определялась количеством одновременно работающих двигателей ДУ СОЗ. Численное моделирование проводилось для одной секции конфигураций СБУ. Анализ результатов моделирования (рисунок 12) показал, что при степени заполнения баков 25% по истечении примерно 100 с работы ДУ СОЗ жидкий компонент локализуется в нижней части бака возле заборных устройств.

Направления дальнейших исследований внутрибаковых процессов в изделиях НПО имени С.А. Лавочкина связаны с повышением точности результатов математического моделирования за счёт учёта реальной конфигурации внутрибаковых устройств, капиллярных эффектов в условиях невесомости и уточнённых математических моделей КЗУ.

На состоявшемся 30 сентября 2021 года совещании по вопросам космической отрасли президент В.В. Путин отметил, что за минувшие годы Россия заметно продвинулась в разработке уникальных технологий ядерной космической энергетики и в этой сфере опережает другие страны на 6–7 лет. При этом он подчеркнул необходимость использовать это преимущество, ускорить практическое внедрение перспективных технологических решений (*Совещание Владимира Путина по вопросам космической отрасли, 2021*). В этой связи, с учётом проводимых в настоящее время опытно-конструкторских работ по созданию КА с ядерной энергодвигательной установкой (ЯЭДУ), представляется целесообразным пересмотреть возможность реализации ряда ранее предварительно проработанных совместных предложений НПО имени С.А. Лавочкина и Центра Келдыша.

Одно из таких предложений связано с использованием КА с ЯЭДУ для энергоснабжения группировок малых спутников в рамках реализации проекта связанных космических систем на основе малых космических аппаратов (*Барабанов А.А. и др., 2015; Гафаров А.А. и др., 2015*). Связанность этих систем осуществляется с помощью лазерного излучения,

обеспечивающего дистанционное энергопитание малых спутников, в том числе при выполнении программ, связанных с большой энергоёмкостью проводимых процессов, а также скоростную передачу информации и высокоточное измерение межспутниковых расстояний.

Следует отметить, что в ходе ранее выполненных совместных работ на пути реализации данной технологии были изготовлены узлы аппаратуры для модельных экспериментов, проведены экспериментальные работы, выполнена сравнительная оценка эффективности различных фотоприёмных устройств при засветке лазерным излучением варьируемой мощности, проведена практическая отработка вариантов построения информационно-измерительных систем с использованием лазерного излучения. Этот научно-технический задел открывает широкие возможности для совместного участия наших предприятий в реализации новой актуальной федеральной целевой программы «Комплексное развитие космических информационных технологий на период 2020–2030 годы» (ФЦП «Сфера») (*Афанасьев И., 2021*). Эта программа должна обеспечить совершенствование и создание космической инфраструктуры Российской Федерации с целью развития существующих и создания новых высокотехнологичных, коммерчески привлекательных, взаимоувязанных по целям и задачам спутниковых систем связи и вещания, дистанционного зондирования Земли и навигации.

В рамках этой ФЦП возможна также реализация проекта геостационарной гидрометеорологической системы третьего поколения «ЭЛЕКТРО-М». Для спутников этой системы в Центре Келдыша разрабатывается аппаратура – гиперспектральный ИК-зондировщик (фурье-спектрометр) ИКФС-ГС, который по ряду своих характеристик превосходит лучшие зарубежные аналоги (*Головин Ю.М., Гафаров А.А., 2012*).

Среди перспективных разработок НПО имени С.А. Лавочкина – космический комплекс «ЛАПЛАС-П» для исследования планетной системы Юпитера. Входящий в этот комплекс КА «ЛАПЛАС-П1» включает в свой состав орбитальный модуль для дистанционного исследования планетной системы Юпитера, а КА «ЛАПЛАС-П2» – посадочный аппарат для контактного исследования спутника Юпитера – Ганимеда. Средство выведения для этих КА – РН тяжёлого класса (*НПО имени С.А. Лавочкина, 2022*).

Масса научной аппаратуры обоих КА составляет 50 кг, источником энергии посадочного модуля являются два РИТЭГ суммарной электрической мощностью около 150 Вт. По показателю эффективности миссий по исследованию спутников Юпитера миссия «ЛАПЛАС-П2» уступает американской миссии

«EUROPA-LANDER», нацеленной на исследование спутника Юпитера – Европы с использованием РН сверхтяжёлого класса SLS (Платов И.В. и др., 2017).

Эффективность миссии в систему Юпитера может быть существенно повышена при использовании тех же РН тяжёлого класса, что для КК «ЛАПЛАС», но при использовании для энергодвигательного обеспечения миссии ядерной энергодвигательной установки. При этом, как было показано в совместном проекте НПО имени С.А. Лавочкина и Центра Келдыша, обеспечивается возможность посадки на Европу и её радиолокационного зондирования на предмет наличия жизни в воде под многокилометровой толщей льда (Gafarov A.A. et al., 2004).

Многолетний опыт плодотворного сотрудничества НПО имени С.А. Лавочкина и Центра Келдыша, созданный при этом научно-технический задел являются надёжной основой для дальнейшего взаимодействия наших предприятий по широкому спектру разработок в области создания и применения непилотируемых комплексов для исследования космического пространства.

список литературы

Авдеевский В.С., Головин Ю.М., Завелевич Ф.С., Лихущин В.Я. и др. Предварительные результаты прямых измерений лучистых потоков от Солнца в атмосфере и на поверхности Венеры со спускаемых аппаратов «ВЕНЕРА-9» и «ВЕНЕРА-10» // Доклады АН СССР. 1976. № 3. С. 579-582.

Афанасьев И. На новый уровень. Проект «Сфера» переходит к практической реализации // Русский космос. 2021. № 12. С. 36-41.

Барабанов А.А., Ребров С.Г., Папченко Б.П., Пичхадзе К.М. и др. Предложение по организации связанных космических систем из малых космических аппаратов и транспортно-энергетического модуля с ядерной энергетической установкой // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 1. С. 34-40.

Гафаров А.А., Головин Ю.М., Ильина А.Ю., Кошляков В.В. и др. НПО им. С.А. Лавочкина и Центр Келдыша – вместе на пути создания авиационной, ракетной и космической техники // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 2. С. 92-100.

Гафаров А.А., Головин Ю.М., Пономарев Н.Б., Ребров С.Г. Пятьдесят лет сотрудничества в космической деятельности НПО им. С.А. Лавочкина и Центра Келдыша // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 3. С. 39-44.

Гафаров А.А., Долгуничев К.Д. Обеспечение радиационной безопасности космических радиоизотопных генераторов // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 2. С. 78-84.

Головин Ю.М. Сотрудничество, обогатившее всех // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 4. С. 29-32.

Головин Ю.М., Гафаров А.А. В тесном сотрудничестве – от самолетов до космических аппаратов // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2012. № 4. С. 74-80.

Евстафьев М.Д. Долгий путь к «Буре». М.: Вузовская книга, 1999. 112 с.

Ефанов В.В., Мартынов М.Б., Карчаев Х.Ж. Летательные аппараты НПО имени С.А. Лавочкина (к 80-летию предприятия) // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 2. С. 5-16.

Исследовательский центр им. М.В. Келдыша. 70 лет на передовых рубежах ракетно-космической техники / Редкол.: А.С. Коротеев, А.А. Гафаров, О.А. Горшков и др. М.: Машиностроение, 2003. 440 с.

Кошляков В.В., Архангельский Н.И., Нестеров В.М. Концепция экспериментального полета лунного демонстратора с ЭРДУ в комплексе с буксиром «Фрегат» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2021. № 3. С. 14-22.

НПО им. С.А. Лавочкина. URL: <http://www.laspace.ru> (дата обращения: 20.01.2022).

Платов И.В., Симонов Н.В., Гордиенко Е.С. Сравнительный анализ миссий в систему Юпитера // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4. С. 11-17.

Пономарев Н.Б., Морозов В.И. Расчётное исследование возможности повышения удельного импульса тяги маршевой ДУ МКБ «Фрегат» и «Фрегат-СБ» с помощью разворачиваемого донного насадка // Актуальные вопросы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований. Химки, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», 2015.

Резниченко С.Н. Реактивное вооружение советских ВВС 1930-1945 гг. М.: Бедретдинов и Ко, 2007. 1056 с.

Рогозин призвал запустить станцию к Венере до 2030 года // Новости космоса. 30 ноября 2021. № 225. С. 6-8.

Совещание Владимира Путина по вопросам космической отрасли // Новости космоса. 30 сентября 2021. № 184. С. 15-16.

Хартов В.В. Новый этап создания автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2011. № 3. С. 3-10.

Gafarov A.A., Gorshkov O.A., Kudryashov V.A., Skryabin M.I. et al. Conceptual Project of Interplanetary Spacecraft with Nuclear Power System and Electric Propulsion System for Radar Sounding of Ice Sheet of Europa, Jupiter Satellite. 2004. IAC-04-R.4-S.7.02.

Статья поступила в редакцию 25.01.2022

Статья после доработки 25.01.2022

Статья принята к публикации 25.01.2022

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
АО «НПЦАП»
В ПРОЕКТАХ
АО «НПО ЛАВОЧКИНА»**

**GUIDANCE, NAVIGATION AND
CONTROL (GNC) SYSTEMS CREATED
BY NPCAP JSC FOR THE PROJECTS OF
LAVOCHKIN ASSOCIATION, JSC**



В.Д. Дишель¹,
доктор
технических наук,
otd301@npcap.ru;
V.D. Dishel



М.А. Елисеева¹,
otd301@npcap.ru;
M.A. Eliseeva



А.М. Мулюкин¹,
otd301@npcap.ru;
A.M. Mulyukin



А.И. Сапожников¹,
otd301@npcap.ru;
A.I. Sapozhnikov



М.Л. Симаков¹,
otd301@npcap.ru;
M.L. Simakov

В статье представлен обзор систем управления АО «НПЦАП» им. академика Н.А. Пилюгина для автоматических межпланетных станций, обеспечивших успешные полёты АМС на Луну, Венеру, Марс, а также разгонных блоков производства АО «НПО Лавочкина»; даётся обзор совместных перспективных проектов.

Ключевые слова: система управления; БЦВМ; гиростабилизированная платформа; разгонный блок «Фрегат»; АО «НПЦАП»; Н.А. Пилюгин.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.007

The article presents an overview of the GNC systems created by NPCAP JSC for automatic interplanetary stations, provided successful flights to the Moon, Venus, Mars and also Upper Stages, produced by Lavochkin Association. The article presents an overview of prospective projects.

Key words: GNC systems; digital computer systems; gyro-stabilized platforms; Fregat Upper Stage; NPCAP JSC; N.A. Pilyugin.



¹ АО «НПЦАП», Россия, г. Москва.

NPCAP JSC, Russia, Moscow.

1. Автоматические межпланетные станции

Отечественная космическая история насчитывает более 60 лет успешных полётов за пределы притяжения Земли. АО «НПЦАП» (он же Центр Пилюгина – ранее НИИ АП) с 50-х годов прошлого века на передовой космических достижений: первая межконтинентальная баллистическая ракета «Р-7», уникальные космические аппараты для изучения планет Солнечной системы, первый разгонный блок оснащёны пилюгинскими системами управления.

После триумфальных успехов Советского Союза в освоении космоса, связанных с запуском первого искусственного спутника и полётом Юрия Алексеевича Гагарина, руководством страны была поставлена задача по созданию и запуску автоматических межпланетных станций (АМС) для изучения дальних планет Венеры, Марса, а также спутника Земли – Луны.

К этой работе были привлечены коллективы головной организации по разработке космических аппаратов для исследования Луны и планет Солнечной системы – АО «НПО Лавочкина» и ведущей организации по созданию автономных систем управления (СУ) ракетно-космической техники – АО «НПЦАП», главные конструкторы Г.Н. Бабакин и Н.А. Пилюгин.

Первым витком сотрудничества НПО имени С.А. Лавочкина и НИИ АП в 1965 году стали проекты по запуску станций к Луне, а затем – к Венере и Марсу. «При создании СУ АМС для полётов к планетам Солнечной системы ставились сложнейшие научно-технические задачи: обеспечение высокой точности доставки космических станций на орбиту назначения и надёжности космического аппарата при минимальном весе и габаритах аппаратуры СУ с учётом энергетических возможностей ракетно-космической системы в целом; обеспечение взаимодействия с наземными системами; учёт нештатных ситуаций, которые могли возникнуть в процессе полёта, и многое другое» (*История развития систем управления*, 2019).

Принцип резервирования различных систем, в том числе СУ, а также тщательная отработка технических решений в наземных условиях при невозможности предварительных лётно-конструкторских испытаний стали фундаментом для надёжной работы аппаратуры.

Прецизионные приборы и бортовой вычислительный комплекс, реализующий сложные алгоритмы

управления, обеспечивали точность полёта. Центральным звеном инерциальной СУ стала гиросtabilизированная платформа (ГСП). Система управления АО «НПЦАП» обеспечила точность и надёжность управления полётом станций по траекториям, близким к расчётным.

Выведение лунных станций и легендарного «ЛУНОХОДА» осуществлялось ракетами-носителями и разгонными блоками также с системами управления разработки НИИ АП.

Ответственный подход и новаторские решения коллективов партнёрских предприятий позволили в кратчайшие сроки осуществить лунную программу, и уже в январе 1966 года АМС «ЛУНА-9» совершила мягкую посадку на Луну.

В ходе реализации лунного проекта коллектив НИИ АП столкнулся с жёсткими ограничениями по массе для СУ посадочной ступени «ЛУННИКА», Эту задачу удалось успешно решить. Под руководством Николая Алексеевича Пилюгина такая СУ массой 60 кг, которая обеспечила программу исследований Луны, была создана на основе комплексного командного прибора «СКТ»:

- 31.01.1966 РН 8К78 с КА Е6 «(ЛУНА-9)» – посадка на Луну;
- 03.04.1966 «ЛУНА-10» – запуск спутника Луны;
- 24.08.1966 «ЛУНА-11» – запуск спутника Луны;
- ноябрь 1966 «ЛУНА-12» – фотосъёмка поверхности Луны;

Межпланетные исследования начались с АМС «ВЕНЕРА-5» и «ВЕНЕРА-6», стартовавших к голубой планете в 1969 году. Система управления АМС обеспечила плавный полёт на высоте 20 км над разными районами Венеры и передачу сведений об атмосфере планеты.

Спустя год, благодаря спускаемому аппарату миссии «ВЕНЕРА-7», впервые были получены данные непосредственно с планеты.

В 1972 году спускаемый аппарат АМС «ВЕНЕРА-8» впервые совершил мягкую посадку на освещённую Солнцем сторону планеты, исследовал атмосферу и поверхностный слой (*Межирицкий Е.Л.*, 2014).

«Создавать все это приходилось с учётом требований минимального веса и габаритов. Ведь один килограмм полезного груза, доставляемого на Венеру, соответствовал 100 кг стартового веса на Земле. Работа также осложнялась невозможностью предварительных лётно-конструкторских испытаний,

так как первый же пуск должен был стать целевым. Надёжная работа аппаратуры была достигнута благодаря тщательной отработке всех технических условий в наземных условиях» (*Межирицкий Е.Л.*, 2014).

В 70-х годах коллектив нашего института, учитывая накопленный опыт, приступил к созданию систем управления для станций «ВЕНЕРА-9» и «ВЕНЕРА-10» с использованием принципиально новых бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ) (*История развития систем управления*, 2019). Был определён состав приборов и выбрано оптимальное размещение в заданных на изделия объёмах. Осуществлялась увязка приборов системы автономного управления общей циклограммой работы.

На борту АМС функции вычисления алгоритмов управления выполняла БЦВМ С530. Эта БЦВМ третьего поколения с быстродействием 100 тыс. коротких операций в секунду была построена на интегральных микросхемах «Тропа» серии 201 (*Пичхадзе К.М., Ефанов В.В., Мартынов М.Б.*, 2010). Надёжность БЦВМ была такова, что все её каналы сохранили работоспособность до полного окончания программы полёта. БЦВМ была выполнена по трёхканальной схеме с обменом между каналами. Общая конструкция машины объединяла устройство ввода-вывода, процессор и оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) (*Страницы космической истории*, 2003).

Блок ОЗУ обеспечивал в процессе работы запись, хранение и выдачу информации. В память программно-запоминающего устройства (ПЗУ) была внесена, как говорят разработчики, прошитая неизменяемая часть программы.

По командам БЦВМ включались ленточные программные токораспределители, а через них – шаговые токораспределители, которые осуществляли по заданной циклограмме управление элементами двигательной установки и блока «ДМ».

По исходным данным НПО им. С.А. Лавочкина НИИ АП также создал ряд электронных приборов системы астроориентации. Эта система обеспечила точное определение местоположения АМС в космическом пространстве.

Система управления обеспечила полёт обеих станций по траекториям, близким к расчётным. 22 октября 1975 года спускаемый аппарат станции «ВЕНЕРА-9» достиг планеты и впервые в истории передал на зем-

лю фотопанораму венерианской поверхности (*Межирицкий Е.Л.*, 2014).

Выведение станций «ВЕНЕРА-9» и «ВЕНЕРА-10» было осуществлено ракета-носителем «8К-82К» и разгонным блоком «ДМ». И на носителе, и на головном блоке (ГБ), включавшем в себя разгонный блок и станцию «Венера», использовались системы управления разработки НИИ АП.

Ещё одно важное направление сотрудничества НПО имени С.А. Лавочкина и НИИ АП – марсианские миссии. За период с 1962 по 1973 год на красную планету направлено семь космических аппаратов «Марс», система управления которых обеспечила выполнение задач входа в атмосферу Марса, управления на атмосферном участке спуска, мягкой посадки, фотографированию, измерению физико-химических параметров атмосферы и т.д.

Одним из наиболее сложных с точки зрения управления в миссии к Марсу был участок аэродинамического спуска. Атмосфера Марса, будучи сильно разреженной, характеризуется исключительными амплитудными и градиентными возмущениями параметров плотности и действующих ветров. Для марсианских спускаемых аппаратов, обладающих малым аэродинамическим качеством и, как следствие, ограниченными потенциальными возможностями по парированию возмущений, эти факторы обуславливали жёсткие требования к обеспечению устойчивости движения и точности управления.

2. Разгонный блок «Фрегат»

В начале 90-х годов Роскосмос и Минобороны РФ поставили перед НПО им. С.А. Лавочкина новую задачу: создать новый разгонный блок (РБ), который повысит эффективность российских ракет-носителей. Новый разгонный блок должен был увеличить массы полезных грузов, повысить точность выведения, расширить перечень орбит, доступных для средств выведения, показать высокую надёжность с самого начала эксплуатации. Для создания СУ РБ «Фрегат» НПО им. С.А. Лавочкина привлекло своего давнего партнёра Центр Пилюгина.

В сжатые сроки были разработаны бортовая и проверочно-пусковая аппаратура, создано проверочное и полётное математическое обеспечение, проведена полная отработка СУ на комплексном и моделирующих стендах, и уже 9 февраля 2000 года состоялся

первый пуск РБ «Фрегат» на ракете-носителе (РН) «Союз-2» с полезной нагрузкой «Демонстратор».

Все логические вычислительные операции по управлению исполнительными органами РБ «Фрегат» были возложены на БЦВМ АО «НПЦАП». Это позволило существенно упростить коммутационные приборы, тем самым сократив количество аппаратуры, увеличить надёжность СУ.

В 2007 году выполнена структурная и аппаратурная модернизация РБ «Фрегат». В состав БЦВМ вошёл «Бисер-6» (*Страницы космической истории*, 2003), разработанный на матричных кристаллах. Это привело к существенному снижению массы и энергопотребления (в 4-5 раз), повышению надёжности и уменьшению себестоимости. В программно-математическое обеспечение были введены универсальные алгоритмы, позволявшие проводить сложные пространственные перестроения РБ: развороты, закрутки, сброс дополнительных баков горючего и т.д. (*Штурманы ракет*, 2008).

Для осуществления длительных орбитальных полётов в состав СУ была введена аппаратура спутниковой навигации (АСН) (*Межирицкий Е.Л., Дишель В.Д., Быков А.К.*, 2018), которая связала командный комплекс РБ «Фрегат» с глобальной спутниковой навигационной системой. Это позволило компенсировать ошибки начальной выставки и «уходы» ГСП, а также на порядок уменьшить погрешности параметров выведения полезной нагрузки. Таким образом, была решена задача «исправления ошибок» при выведении РБ ракетой-носителем. Это позволило даже при нештатных ситуациях, связанных со значительным недобором характеристической скорости РН, обеспечить вывод полезной нагрузки на заданную орбиту.

Идеология построения интегрированной системы отработана на более чем 50-ти успешных пусках РБ «Фрегат» и «ДМ» различных модификаций, в том числе связки «Союз-Фрегат», с космодрома Куру.

Оснащение средств выведения интегрированными системами управления НПЦАП позволяет повысить технико-экономическую эффективность ракетно-космических комплексов и тем самым их конкурентоспособность на рынке пусковых услуг.

Даже после 12-ти лет успешной эксплуатации интегрированных инерциально-спутниковых систем управления разгонными блоками разработки Центра Пилюгина они остаются уникальными по точности

выведения на различные орбиты, превосходя все другие отечественные и зарубежные комплексы выведения по этому показателю на один-два порядка. Во многом это стало результатом разработки и последовательного совершенствования инновационной технологии интервально-динамического оценивания и идентификации, предназначенной и обеспечивающей высокоточное и гарантированно достоверное решение задач корректируемой навигации и ориентации (*Dishel V.D., Sapojnikov A.I., Malishev A.V.*, 2017).

Созданная базовая модель РБ постоянно модернизировалась для увеличения массы выводимой полезной нагрузки и адаптации РБ к различным РН. При этом совершенствовалась конструкция и учитывалась специфика траектории выведения каждой миссии.

Одновременно с поэтапной модернизацией РБ «Фрегат» происходила модернизация их СУ, позволяющая улучшить энергомассовые, эксплуатационные характеристики самого изделия, а также повысить его эффективность. Были созданы различные модификации РБ: «Фрегат-М», «Фрегат-МТ», «Фрегат-СБ», «Фрегат УТТХ» с СУ АО «НПЦАП».

В связи с востребованностью данного типа РБ в настоящее время АО «НПЦАП» разработало и испытало современную модернизированную СУ для нового РБ «Фрегат СУМ1», созданного на замену РБ «Фрегат УТТХ». На основе системы выведения, установленной в РБ «Фрегат СУМ1», ведётся разработка её модификации для нового РБ «Фрегат-СБУ». В РБ «Фрегат-СБУ», как и в РБ «Фрегат СУМ1», применена модернизированная система управления, выполненная в одном моноблоке, применены модернизированные телеметрические системы, изготовленные на отечественной элементной базе. В РБ «Фрегат-СБУ» применены металлокомпозитные баллоны высокого давления и увеличена масса заправляемого топлива, достаточного для реализации энергетических возможностей современных ракет космического назначения.

Система управления РБ «Фрегат» решает следующие задачи:

- перевод одного или нескольких космических аппаратов (КА) с опорной орбиты на требуемую околоземную рабочую орбиту или отлётную траекторию;
- разведение КА по рабочим орбитам в случае группового запуска;

- перевод головного блока в составе РБ+КА с незамкнутой траектории на опорную орбиту (операция «довыведения», которая позволяет увеличить массу выводимой полезной нагрузки;
- стабилизацию ГБ на пассивных и активных участках полёта;
- формирование и выдачу команд на сброс головного обтекателя, отделение головного блока, отделение КА;
- построение необходимой ориентации, а также, в случае необходимости, закрутки головного блока на пассивных участках полёта и перед отделением КА;
- измерение с использованием данных АСН и с помощью наземных средств параметров промежуточных орбит и орбит выведения КА;
- контроль состояния РБ и, при необходимости, выводимого КА в процессе выведения, увод РБ с рабочей орбиты выводимого КА.

Разгонный блок «Фрегат» обладает следующими отличительными особенностями:

- РБ является универсальным и допускает использование не только в составе РН «Союз» («Союз-2»), но и в составе других РН среднего и тяжёлого классов без их существенной доработки;
- РБ – автономный, т.е. обеспечивает весь процесс выведения без вмешательства с Земли; логика работы РБ предусматривает выход из возможных нештатных ситуаций;
- в составе РБ применяется маршевая двигательная установка, работающая на высококипящих компонентах топлива: азотный тетраоксид и несимметричный диметилгидразин;
- несмотря на то, что РБ изначально предназначался для использования в составе РН «Союз», он с минимальной модернизацией допускает увеличение массы заправляемого топлива, позволяющего его использовать в составе РН «Зенит-2СБ», имеющего грузоподъёмность до двух раз большую, чем «Союз-2».

В рамках международного проекта по обеспечению коммерческих запусков КА с космодрома Куру во Французской Гвиане в качестве средства выведения используется РН «Союз-СТ» с РБ «Фрегат-МТ». При создании СУ РБ учитывались особенности эксплуатации нового ракетно-космического комплекса: европейская структура кадра телеметрии, а также

морская транспортировка, повышенная влажность местности и т.д.

Разгонный блок «Фрегат» и его модификации могут использоваться в составе практически всех существующих, модернизируемых и новых российских РН среднего и тяжёлых классов: «Союз-ФГ», «Союз-2», «Протон-М».

Разгонные блоки семейства «Фрегат» эксплуатируются на 4-х космодромах: Плесецк, Байконур, Гвианский космический центр и Восточный, где создана наземная инфраструктура (установлена наземная аппаратура СУ разработки АО «НПЦАП» (*Межрицкий Е.Л., Дишель В.Д., Быков А.К.*, 2018), технические комплексы, заправочные станции) для обеспечения полного цикла наземной подготовки блоков семейства «Фрегат» к запускам.

С 2000 года было осуществлено более 100 успешных пусков РБ «Фрегат», а на расчётные орбиты выведено более 200 космических аппаратов как российского, так и зарубежного производства, среди которых спутники российской навигационной системы «ГЛОНАСС» и европейской «ГАЛИЛЕО», телекоммуникационные аппараты «ГЛОБАЛСТАР-1» и «ГЛОБАЛСТАР-2», «ОЗВ», «HISPASAT», метеорологические КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 1 и № 2, научные КА «СПЕКТР-Р», «ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС» и многие другие.

В 12 запусках КА «One Web» с высочайшей точностью выведено более 400 спутников высокоскоростного спутникового интернета.

В перечень орбит, на которые были выведены КА, вошли круговые в интервале высот от низких с различными наклонениями, в том числе солнечно-синхронные и полярные; эллиптические типа «Молнии», геопереходные, до геостационарных с разной долготой точки «висения» и перелёта в точку либрации Лагранжа (L2) системы Солнце – Земля, а также отлётные траектории к другим планетам.

Универсальный разгонный блок «Фрегат», созданный в АО «НПО Лавочкина», обладает высочайшими тактико-техническими характеристиками: полная автономность работы, длительное (до двух суток) время активного существования, алгоритмы управления, позволяющие преодолевать нештатные ситуации, многократность (до семи раз) включения маршевой двигательной установки, возможность запуска с четырёх космодромов, что даёт разгонному блоку неоспоримые и непревзойдённые конкурентные преимущества над мировыми аналогами.

3. Новая лунная миссия

В последние годы коллективы АО «НПО Лавочкина» и АО «НПЦАП» активно работают над обновлением Лунной программы, начатой ещё в советские времена. Космический проект «ЛУНА-25» создаётся с использованием последних достижений в области космического приборостроения и с учётом опыта предыдущих лунных миссий. Главная задача – отработка базовых технологий мягкой посадки в околополярной области и проведение контактных исследований Южного полюса Луны.

В 2022 году Россия планирует вернуться на Луну, запустив свой первый за 47 лет автоматический аппарат – «ЛУНА-25». Один из важнейших приборов для этого КА БИУС-Л был разработан АО «НПЦАП» из отечественных комплектующих в сжатые сроки.

БИУС-Л – это бесплатформенный измерительный блок, который служит для измерения угловых скоростей и линейных ускорений, воздействующих на космический аппарат, и передаёт их в бортовую систему управления аппарата. Управляющая машина, обработав данные, сможет скомпенсировать эти воздействия. За счёт этого поддерживается стабилизация и определяется пройденный путь аппарата. Прибор начинает работать как только аппарат выходит на орбиту Земли.

Есть несколько способов решения задачи ориентации КА в космосе. Прежде всего это звёздные датчики, позволяющие аппарату ориентироваться по звёздному небу.

Планируется, что на «ЛУНА-25» будут стоять два прибора БИУС-Л. Это необходимо для надёжности. Приборы работают параллельно, оптические оси их объективов развёрнуты относительно друг друга.

Стоит отметить, что прибор БИУС-Л создаётся для всей лунной программы:

«ЛУНА-26» – с орбитальным космическим аппаратом для проведения дистанционных исследований поверхности Луны с окололунной орбиты.

«ЛУНА-27» – первая тяжёлая посадочная станция для забора и анализа поверхностного льда Луны.

Вот уже более 57 лет насчитывает плодотворное сотрудничество учёных, инженеров, конструкторов и испытателей двух ведущих ракетно-космических предприятий России – АО «НПЦАП» и НПО имени С.А. Лавочкина, 85-летний юбилей которого отмечается в 2022 году. Общие принципы, которыми руководствуются многие годы давние «космиче-

ские» партнёры – ответственность за результат и надёжность изделий.

Многолетняя плодотворная деятельность АО «НПЦАП» и АО «НПО Лавочкина» позволит и дальше успешно выполнять задачи Федеральной космической программы и работы в области международного космического сотрудничества.

список литературы

История развития систем управления. М.: Изд. дом «Столичная энциклопедия», 2019. 598с.

Межирицкий Е.Л. Годы совместного сотрудничества НПО имени С.А. Лавочкина с НПЦАП имени академика Н.А. Пилюгина // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 1. С. 59-63.

Межирицкий Е.Л., Дишель В.Д., Быков А.К. Технология интервально-динамического оценивания и ее развитие примечательно к задачам корректируемой навигации и ориентации БИНС со структурно-измерительной избыточностью // Труды ФГУП НПЦАП. 2018. № 1. С. 7-29.

Межирицкий Е.Л., Дишель В.Д., Быков А.К. Технология интервально-динамического оценивания и идентификации как средство повышения точности и отказоустойчивости систем управления космических комплексов выведения сегодняшнего и следующих поколений // Труды 25-й юбилейной Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам (МКИНС). 2018. С. 53-63.

Пичхадзе К.М., Ефанов В.В., Мартынов М.Б. Создание автоматических космических комплексов для научных исследований Луны: Вчера, Сегодня, Завтра (к 45-летию космической деятельности НПО им. С.А. Лавочкина) // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2010. № 11. С. 3-8.

Страницы космической истории. М.: Изд-во НТО им. академика С.И. Вавилова, 2003. 354 с.

Штурманы ракет. М.: ООО «Блок-Информ-Экспресс», 2008. 384 с.

Dishel V.D., Sapojnikov A I., Malishev A.V. High-Precision Guaranteed Validity Estimation Methods Application for Integrated Inertial Navigation Solution of Orbital Vehicles // Advances in the Astronautically Sciences. Univelt Inc. (San-Diego California). 2017. Vol. 161. P. 353-372.

Статья поступила в редакцию 08.02.2022

Статья после доработки 08.02.2022

Статья принята к публикации 08.02.2022

СОЗДАНИЕ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РАЗРАБОТКИ НПО ИМ. С.А. ЛАВОЧКИНА

DEVELOPMENT OF ON BOARD CONTROL SYSTEMS FOR THE SPACECRAFT BUILT BY LAVOCHKIN ASSOCIATION, JSC



Д.А. Добрынин¹,
кандидат технических наук,
office@mokb-mars.ru;
D.A. Dobrynin



А.Н. Ивонин¹,
доктор технических наук,
office@mokb-mars.ru;
A.N. Ivonin



В.Н. Соколов¹,
доктор технических наук,
sokolov@mokb-mars.ru;
V.N. Sokolov

В статье представлены основные направления сотрудничества МОКБ «Марс» с НПО им. С.А. Лавочкина с 50-х годов и по сегодняшний день, приведены принципы построения бортового комплекса управления для платформы «Навигатор» и краткая информация о реализованных проектах создания БКУ для КА серий «ЭЛЕКТРО-Л», «СПЕКТР» и «АРКТИКА-М».

Ключевые слова: космические аппараты; бортовой комплекс управления; Луна; Марс; космические телескопы.

The article covers the main fields of cooperation between the MOKB MARS (Moscow R&D Bureau MARS) and the Lavochkin Association starting from the 50^s of the 20th century to the present day. It presents the development principles for on board control systems for the Navigator platform and some brief information about the implemented missions related to on board control complexes for the ELECTRO-L, SPEKTR and ARKTIKA-M spacecraft series.

Key words: Spacecrafts; On Board Control System; Moon; Mars; Space Telescopes

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.008



¹ МОКБ «Марс»-филиал ФГУП «ВНИИА», Россия, г. Москва.

Mars Moscow Experimental Design Bureau – Branch of Dukhov Automatics Research Institute, Federal Unitary Enterprise, Russia, Moscow.

В непрерывной работе время летит быстро. Вроде недавно отметили 80 лет со дня основания НПО им. С.А. Лавочкина, а на пороге 85-летия.

К предыдущему юбилею предприятия МОКБ «Марс» уже опубликовало в журнале «Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина» свои воспоминания о совместной работе (Соколов В.Н., Сыров А.С., 2017) «От «Бури» до «Навигатора» – история сотрудничества МОКБ «Марс» и «НПО имени С.А. Лавочкина». Прошло пять лет, и нам есть что добавить.

Но сначала ретроспектива: 50-е годы XX века – астросистема для межконтинентальной крылатой ракеты «Буря»; 60-е – 70-е – астрокомплексы для автоматических лунных станций (от «ЛУНА-9» до «ЛУНА-24»); 70-е – астросистема для проекта 5М «МАРС-ГРУНТ» (увы, не сбылось). Затем длительный перерыв в совместных работах на фоне распада СССР и лихих 90-х.

Но МОКБ «Марс» не стояло на месте, работая по атмосферным и космическим изделиям, преодолевая

Российское авиационно-космическое агентство

<p style="text-align: center;">«Согласовано»</p> <p>Генеральный директор и Генеральный конструктор ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина</p> <p style="text-align: right;">_____ К.М. Пичхадзе</p> <p style="text-align: right;">« » 200 г.</p>	<p style="text-align: center;">«Утверждаю»</p> <p>Директор- Главный конструктор МОКБ «Марс»</p> <p style="text-align: right;">_____ А.С. Сыров</p> <p style="text-align: right;">« » 200 г.</p>
---	---

СОВМЕСТНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по решению Р-АМ1-19-03

**«Определение основных направлений разработки БКУ для КА
«Спектр-В» и перспективных космических аппаратов разработки
НПО им. С.А. Лавочкина»**

<p>Директор-Главный конструктор Центра НКС</p> <p style="text-align: right;">_____ Суханов К.Г.</p> <p>1-ый зам. Директора Центра НКС</p> <p style="text-align: right;">_____ Рыбачев А.В.</p> <p>Зам. Главного конструктора - Начальник отделения</p> <p style="text-align: right;">_____ Ульяшин А.И.</p>	<p>Первый Зам. Директора-Главного конструктора, Начальник – Главный конструктор направления 2</p> <p style="text-align: right;">_____ Андреев В.П.</p> <p>Зам. Директора по научной работе</p> <p style="text-align: right;">_____ Бонк Р.И.</p> <p>Зам. Главного конструктора, Начальник – Главный конструктор направления 1</p> <p style="text-align: right;">_____ Соколов В.Н.</p> <p>Ведущий по теме</p> <p style="text-align: right;">_____ Горбатко Т.Г.</p>
---	---

2003 г.

рисунок 1. Титульный лист совместного отчёта

СОЗДАНИЕ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РАЗРАБОТКИ НПО ИМ. С.А. ЛАВОЧКИНА

трудности лихолетья. К 2000 году МОКБ «Марс» уже стало конкретной системной фирмой, за плечами которой автоматическая посадка ОК «Буран», системы управления для воздушно-космических средств выведения (МАКС – Лозино-Лозинского, «Бурлак» – МКБ «Радуга», к сожалению, не состоявшиеся из-за отсутствия необходимого финансирования), система управления РБ «Бриз-М» для РН «Протон-М» (первый пуск в 1999 году, к настоящему времени более 100 пусков тяжёлых КА на высокие орбиты, а в 2016 году – выведение АМС «ЭКЗОМАРС» на отлётную траекторию к Марсу). С 1999 года – создание систем управления для КА «Монитор-Э» и «КазСат» разработки ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, бортовой вычислительной системы для КА «Кондор» разработки «НПО Машиностроения». У МОКБ «Марс» появился инновационный научно-технический и технологический задел по космической аппаратуре негерметичного исполнения для использования вне гермоотсеков, а также по астродатчикам на ПЗС-матрицах, подходам по инте-

грации системы управления (СУ) на базе цифровых интерфейсов, технологии создания бортового программного обеспечения (БПО) и наземной стендовой отработки СУ. Кроме того, в МОКБ «Марс» сложился достаточно молодой работоспособный и профессиональный коллектив, нацеленный на конкретный результат. Указанные обстоятельства привлекали внимание к МОКБ «Марс» головных фирм космической отрасли, и с 2003 года, с лёгкой руки К.М. Пичахадзе, мы опять работаем с НПО им. С.А. Лавочкина. Для начала было определено проведение совместных исследований по созданию бортового комплекса управления (БКУ) для КА «СПЕКТР-Р» (рисунок 1). В итоге с 2004 года МОКБ «Марс» было поручено реализовать ОКР по созданию унифицированного бортового комплекса управления для универсальной космической платформы «Навигатор», на которой НПО им. С.А. Лавочкина проектировало КА серий «ЭЛЕКТРО-Л» и «СПЕКТР».

В принципе, использование бортовых цифровых вычислителей и цифровых интерфейсов позволяет

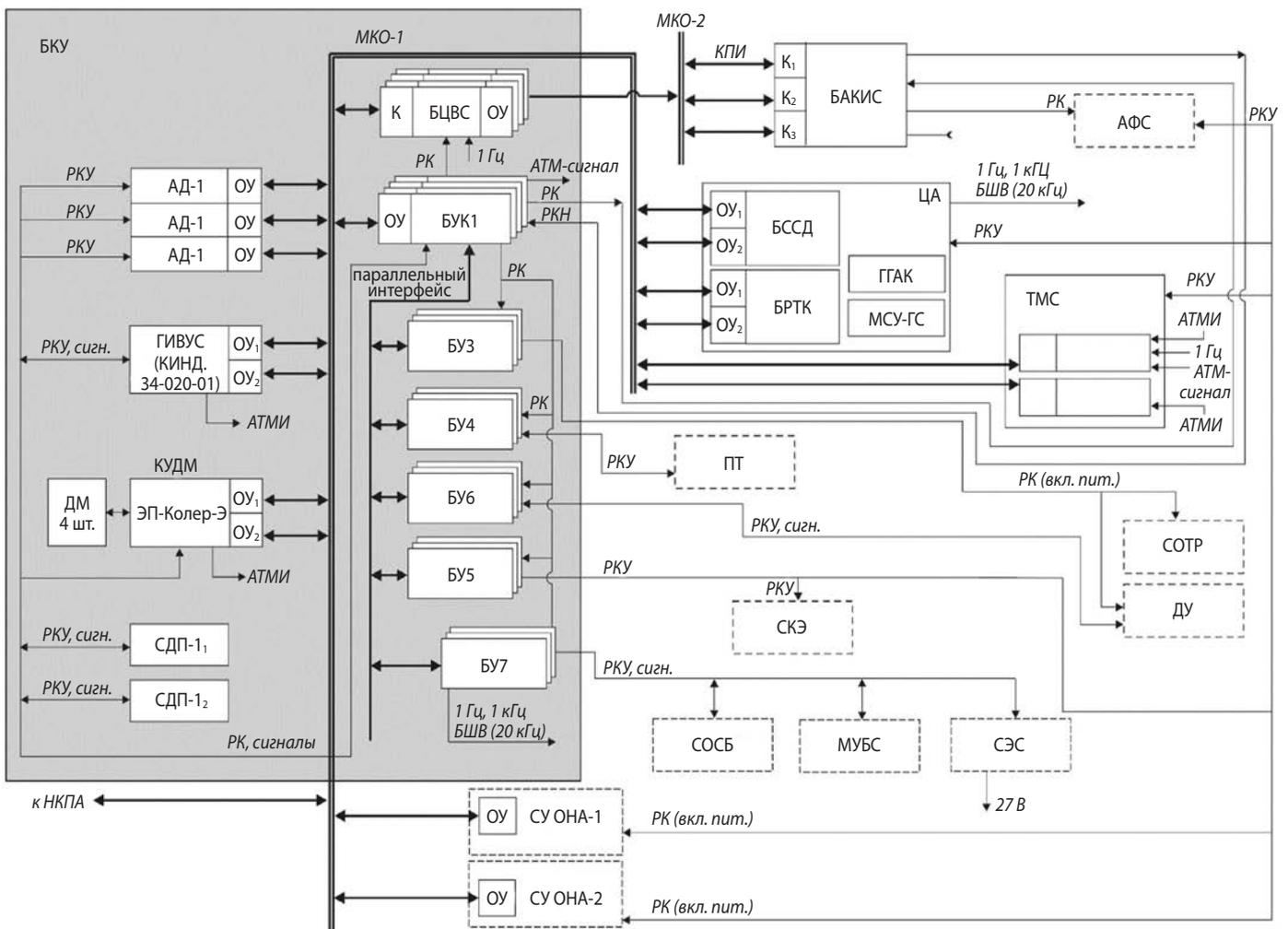


рисунок 2. Структурно-функциональная схема БКУ КА

создавать унифицированные бортовые аппаратно-программные комплексы управления для КА различного назначения. Для БКУ платформы «Навигатор» унификация обеспечивалась, во-первых, за счёт использования типового ядра БКУ (бортовой вычислитель, цифровой интерфейс – шины мультиплексных каналов обмена, блок управления и коммутации, датчиковая аппаратура и исполнительные органы-маховики), а во-вторых, за счёт унификации требований электрофизического сопряжения со смежными системами по каналам выдачи команд и приёма сигналов. Последнее позволило разработать унифицированные блоки силовой автоматики (БСА) для применения на КА с различным составом смежных бортовых систем. Очевидно, что в этом случае предполагается некоторая избыточность каналов БСА, а адаптация аппаратно-унифицированного БКУ под задачи конкретного КА реализуется за счёт частичного изменения бортовой кабельной сети (БКС) и бортового программного обеспечения.

Третьим фактором для унификации аппаратуры БКУ являлось формирование требований в части внешних воздействий исходя из наихудших характеристик условий применения для возможных орбит КА различного назначения. И наконец, четвёртым фактором унификации БКУ являлся выбор измерительных датчиков и исполнительных органов исходя из наиболее жёстких требований по точности ориентации КА.

Таковыми на тот момент времени, очевидно, были требования по точности для КА «СПЕКТР-Р» (радиотелескоп – проект «РАДИОАСТРОН» РАН) в обеспечение прецизионной точности определения ориентации КА для наведения телескопа, а также требуемой точности стабилизации в ходе сеансов наблюдения:

- предельная погрешность фактической ориентации не должна превышать ± 18 угл. с;
- стабилизационные отклонения по углам не должны превышать трубки $\pm 2,5$ угл. с относительно среднего значения на интервале времени 120 с;
- погрешность стабилизации программной угловой скорости не более $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ град/с вокруг оси X связанной системы координат (ССК) и $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ вокруг осей Y и Z .

Научный руководитель проекта «РАДИОАСТРОН» академик Н.С. Кардашев (АКЦ ФИАН) с самого начала проектирования БКУ для КА «СПЕКТР-Р» взял под личный контроль как технические решения по системе ориентации БКУ КА, так и априорное обоснование точности определения и поддержания ориентации телескопа, в том числе результаты цифрового моделирования процессов управления ориентацией на моделях и стендах МОКБ «Марс».

В итоге многочисленных обсуждений принципов построения системы ориентации БКУ КА на совместных совещаниях МОКБ «Марс» с АКЦ ФИАН

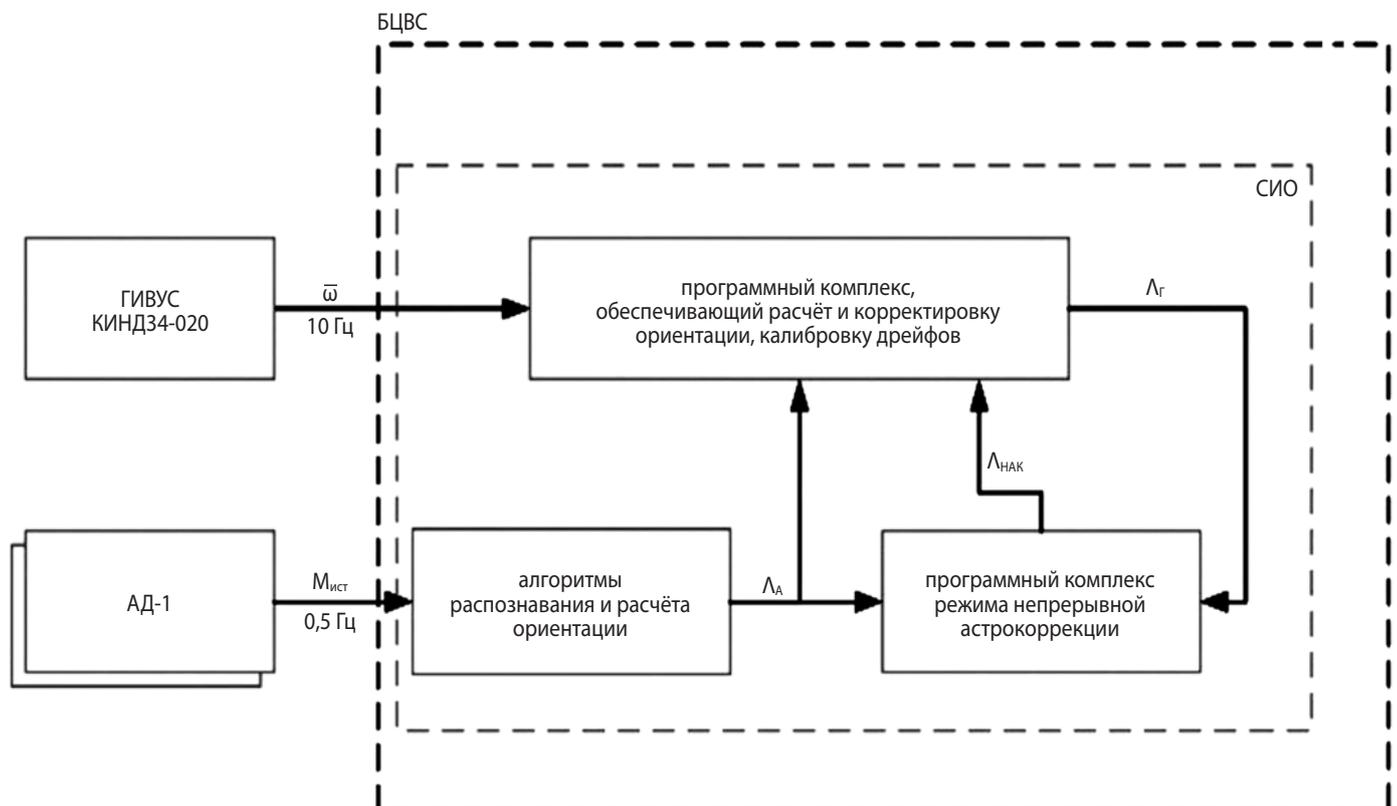


рисунок 3. Система определения ориентации

и НПО им. С.А. Лавочкина был согласован выбор измерительных датчиков и исполнительных органов для системы стабилизации КА:

- гироскопия разработки НИИ ПМ им. академика Кузнецова;
- астродатчики на ПЗС-матрицах разработки МОКБ «Марс»;
- солнечные датчики положения разработки МОКБ «Марс»;
- комплекс управляющих двигателей маховиков разработки НИИ командных приборов,

а также согласованы основные принципы построения прецизионной системы стабилизации:

- алгоритмы фильтрации и комплексной обработки информации с гиросприбора и астродатчиков, калибровки гиросприбора и союстировки астродатчиков;
- структуры и настройки контуров угловой стабилизации;
- циклограммы работы системы ориентации при проведении сеансов наблюдения;
- подходы к обеспечению надёжности системы управления ориентацией как за счёт физического, так и за счёт функционального резервирования;
- методики оценивания точности определения ориентации и стабилизации КА.

Аппаратно БКУ для платформы «Навигатор» строился как резервированная модульная система (*Сыров А.С., Соколов В.Н. и др., 2017*). Структура БКУ сформирована на базе центрального бортового вычислителя (БЦВС), блока управления и коммутации (БУК) и цифровых интерфейсов, образующих бортовую вычислительную сеть, которая позволяет гибко наращивать функции БКУ и при необходимости использовать различные по принципу действия и характеристикам измерительные приборы и исполнительные органы. Для примера на рисунке 2 представлена структурно-функциональная схема БКУ КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 1 во взаимодействии со смежными бортовыми системами, где в части БКУ обозначено:

- БЦВС – бортовая цифровая вычислительная система (разработка МОКБ «Марс»);
- БУК – блок управления и коммутации (разработка МОКБ «Марс»);
- БУЗ...БУ7 – блоки силовой автоматики (разработка МОКБ «Марс»);
- СДП-1 – солнечный датчик положения (разработка МОКБ «Марс»);
- АД1 – астродатчик (разработка МОКБ «Марс»);

- ГИВУС – гироскоп измеритель вектора угловой скорости (разработка НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова);
- КУДМ – комплекс управляющих двигателей-маховиков (разработчик НИИ командных приборов);
- МКО – магистральный канал обмена (последовательный интерфейс «Манчестер», К-контроллер, ОУ-оконечное устройство).

Смежные с БКУ бортовые системы: БАКИС – бортовая автоматика командно-измерительной системы (телекомандная система); ТМС – телеметрическая станция; ЦА – целевая аппаратура (в том числе радиотелескоп); СКЭ – система контроля электризации; ПТ – пиротехника; СОТР – средства обеспечения тепловых режимов; ДУ – двигательная установка; СЭС – система электроснабжения; МУБС – механизм управления (раскрытия) батарей солнечных; СОСБ – система ориентации солнечных батарей; СУ ОНА – система управления остронаправленной антенной.

Для обеспечения надёжной работы БКУ, помимо использования электронной компонентной базы с требуемым качеством и реализации мероприятий по дополнительной радиационной защите, повышения стойкости к ЭСР и ЭМС, реализовано применение различных видов аппаратного резервирования (дублирование, троирование, четырёхкратное) с возможностью реконфигурации структуры БКУ как автоматически, так и по специальным командам от НКУ.

Аппаратное резервирование обеспечивается работой специального бортового ПО системы контроля и диагностики и ПО функционального контроля работы БКУ, базирующегося на оперативной оценке качества реализуемых процессов управления.

Используемые подходы к резервированию аппаратуры БКУ обеспечивают, во-первых, парирование первого отказа любой аппаратуры (согласно ТЗ на БКУ), а во-вторых, живучесть БКУ и КА в целом при вторых (иногда третьих) отказах. Например, БЦВС является четырёхкратно резервированным вычислителем (четыре идентичных вычислительных грани), который сохраняет работоспособность при отказах трёх граней. Аналогичная ситуация с вычислительным ядром БУК, включающим четыре грани. В БСА используется троирование исполнительных плат. ГИВУС включает в свой состав четыре идентичных измерительных канала (ИК), установленных в пирамиду, что обеспечивает автоматиче-

ское парирование БКУ первого отказа одного из ИК. Для фиксации второго отказа ИК задействуется астроконтроль ГИВУС средствами функционального ПО БКУ. Второй отказ ИК, т.е. отказ ГИВУС, парируется переходом на стабилизацию КА по информации от астродатчиков (режим САД). Резервирование в части получения астроопределений обеспечивается применением трёх идентичных астродатчиков. Функционирование БКУ сохраняется и при одном работающем астродатчике. Резервирование в части определения солнечной ориентации обеспечивается как за счёт использования двух СДП, так и за счёт внутреннего дублирования измерительных каналов СДП. КУДМ включает в свой состав дублированную электронику и четыре идентичных двигателя-маховика (ДМ), установленных в пирамиду. Первый отказ одного из ДМ или канала электроники автоматически парируется БКУ. Отказ КУДМ с потерей возможности создания управляющих моментов купируется БКУ задействованием для управления ориентацией двигателей стабилизации (с потерей точности).

Немаловажным фактором обеспечения живучести БКУ и КА в целом является реализованная возможность коррекции бортового программного обеспечения БКУ в полёте. Это позволяет при нерасчётных нештатных ситуациях восстановить функционирование КА за счёт изменения логики работы БКУ и внедрения на борт новых или уточнённых алгоритмов («ремонт на орбите») по информации, получаемой от НКУ. При этом реализуется либо коррекция РПЗУ БЦВС, либо вводятся программные вставки в ОЗУ. Кроме этого, предусмотрена возможность изменений от НКУ так называемых настраиваемых параметров БПО БКУ, т.е. констант алгоритмов (например, передаточных чисел регуляторов). Перепрограммируемая память БЦВС делится на две части (два банка), что позволяет в полёте корректировать (перезаписывать) ПО в одном банке без нарушения текущих операций управления, реализуемых ПО другого банка. Выравнивание ПО в банках осуществляется после положительной проверки нового (откорректированного) ПО по факту выполнения тестовых операций.

Определение ориентации КА в полёте осуществляется в БЦВС с помощью составной части БПО БКУ – системы информационного обеспечения (СИО) за счёт обработки информации, поступающей от ГИВУС и астродатчиков. Укрупнённая структур-

ная схема системы определения ориентации БКУ КА «СПЕКТР-Р» представлена на рисунке 3.

Определение ориентации по информации ГИВУС реализуется алгоритмом, представляющим собой рекуррентную процедуру счисления кватерниона текущей ориентации (Сыров А.С., Соколов В.Н. и др., 2017) приборной системы координат (ПСК) ГИВУС. Вычисления производятся дискретно с шагом 0,1 с. В алгоритме предусмотрена корректировка текущего кватерниона по данным астрокоррекции, а также учёт поправок по дрейфам ГИВУС, определённым процедурой астрокалибровки. Выходными данными алгоритма являются текущий кватернион ориентации, матрица ориентации и угловая скорость ПСК ГИВУС, соответствующие окончанию текущего такта счисления.

Определение ориентации КА по информации от астродатчиков с частотой 0,5 герц реализуется с помощью алгоритмов распознавания звёзд и расчёта астроориентации, работающих на базе бортового каталога звёзд (2500 звёзд до $-5,5...-6$ звёздной величины). Астроориентация определяется относительно инерциальной системы координат J2000 и далее используется (Сыров А.С., Соколов В.Н. и др., 2017) для коррекции ориентации, рассчитанной по информации ГИВУС, для периодической калибровки ГИВУС, контроля работоспособности ГИВУС, а при отказе ГИВУС – реализуется резервный (функционально) режим управления ориентацией КА «Стабилизация на астродатчиках» (САД).

Управление ориентацией КА осуществляет подсистема БКУ – система стабилизации и ориентации, алгоритмы которой реализованы в БЦВС. На участках работы целевой аппаратуры в качестве исполнительных органов используется комплекс управляющих двигателей-маховиков. С учётом инерционных характеристик КА и требуемых скоростей разворотов возможно использование двух комплектов КУДМ. В качестве входной информации алгоритма стабилизации используются показания ГИВУС, по которым определяются отклонения КА (связанной системы координат) от программного положения в гироинерциальном пространстве, угловая скорость КА оценивается с помощью наблюдателя Льюинбергера 2-го порядка по информации от ГИВУС (Сыров А.С., Соколов В.Н. и др., 2017). Требуемая точность угловой стабилизации на участках работы ЦА обеспечивается за счёт введения в законы управления интегральных составляющих, устраняющих статические

ошибки от действия внешних возмущающих моментов, в том числе моментов сопротивления двигателей маховиков.

На базе платформы «Навигатор» НПО им. С.А. Лавочкина были созданы метеорологический КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 1 (геостационарная орбита) и КА «СПЕКТР-Р» (радиотелескоп по программе РАДИОАСТРОН, ВЭО с апогеем ~340 тыс. км). Пуск КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 1 состоялся 21 января 2011 года. Лётные испытания в части БКУ завершились нормативно, что открыло дорогу к запуску уникального астрофизического телескопа «СПЕКТР-Р». Пуск КА «СПЕКТР-Р» состоялся 18 июля 2011 года. По результатам лётно-конструкторских испытаний и последующей эксплуатации КА «СПЕКТР-Р» по данным телеметрических измерений было установлено (Лисаков М.М., Войнаков С.М., Сыров А.С., Соколов В.Н. и др., 2014):

- амплитуда угловых колебаний не превышает $\pm 1,4$ угл. с;
- амплитуда колебаний по угловым скоростям не превышает $\pm 0,00012$ град/с;
- остаточные дрейфы ГИВУС на уровне не более 0,005 град/час;
- наведение радиотелескопа обеспечивается с точностью порядка 0,7 угл. с.

Опыт эксплуатации КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 1 и КА «СПЕКТР-Р» показал состоятельность принятых МОКБ «Марс» и НПО им. С.А. Лавочкина подходов к построению унифицированного БКУ, в том числе в части обеспечения требуемой точности стабилизации для задачи прецизионного наведения радиотелескопа. Подтверждённая точность наведения радиотелескопа была высоко оценена российскими астрофизиками и лично научным руководителем проекта РАДИОАСТРОН академиком РАН Н.С. Кардашевым. Особо следует отметить, что КА «СПЕКТР-Р» отработал на орбите в два раза дольше, чем исходно планировалось.

Дальнейшая совместная с НПОЛ работа привела к созданию и запуску КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 2 (декабрь 2015), «ЭЛЕКТРО-Л» № 3 (декабрь 2019), «СПЕКТР-РГ» (телескоп рентгеновского диапазона, июль 2019, выведен в окрестность точки Лагранжа L2 системы Земля – Солнце) и «АРКТИКА-М» (метеоспутник на высокоэллиптической орбите с наклонением ~63°, 28.02.2021). БКУ этих аппаратов получили дальнейшее развитие как по уточнению взаимодействия со смежными бортовыми системами, например, для КА серии «ЭЛЕКТРО-Л» прове-

дено внедрение аппаратуры спутниковой навигации, работающей на ГСО, так и с учётом последовательного внедрения импортозамещения в электронных блоках БКУ, а также с учётом замены астродатчиков типа АД-1 на астродатчики SED26 фирмы Sodern (по решению Роскосмоса) и астродатчик 348К. Кроме того, проведена замена исходных двигателей-маховиков, показавших недостаточную надёжность, на маховики разработки НПП «Полус» (Томск).

В настоящее время совместно с НПО им. С.А. Лавочкина проводятся работы по созданию БКУ для КА «ЭЛЕКТРО-Л» № 4 и 5, «СПЕКТР-УФ» и «АРКТИКА-М» № 2, 3, 4 и 5. При этом группировка КА «АРКТИКА-М» будет первой в мире, обеспечивающей непрерывный мониторинг арктического региона Земли.

Созданный МОКБ «Марс» научно-технический задел в части БКУ КА непрерывно развивается. Уже создана электронная аппаратура для БКУ с повышенной радиационной стойкостью (более 100 Крад). Разрабатываются варианты аппаратуры для перспективных малогабаритных КА, перспективные астродатчики и гироскопические приборы.

Надеемся на использование этого задела в дальнейших совместных проектах с НПО им. С.А. Лавочкина, в том числе по перспективным задачам исследования Луны, Марса, Венеры и дальних планет Солнечной системы.

список литературы

Лисаков М.М., Войнаков С.М., Сыров А.С., Соколов В.Н. и др. Работа системы ориентации космического аппарата «СПЕКТР-Р» // Космические исследования. 2014. Т. 52, № 5. С. 399-407.

Соколов В.Н., Сыров А.С. От «Бури» до «Навигатора»: история сотрудничества МОКБ «Марс» и НПО им. С.А. Лавочкина // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 2. С. 75-81.

Сыров А.С., Соколов В.Н. и др. Бортовой комплекс управления // Многофункциональная космическая платформа НАВИГАТОР / Под ред. С.А. Лемишевского. Химки: ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», 2017. С. 93-125.

Статья поступила в редакцию 02.03.2022

Статья после доработки 02.03.2022

Статья принята к публикации 02.03.2022

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ
НАУЧНОГО
СОТРУДНИЧЕСТВА
ВА РВСН
ИМЕНИ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
С АО «НПО ЛАВОЧКИНА»**

**A BRIEF HISTORY OF SCIENTIFIC
COOPERATION BETWEEN
THE MILITARY ACADEMY OF
STRATEGIC ROCKET TROOPS AFTER
PETER THE GREAT AND LAVOCHKIN
ASSOCIATION, JSC**



Р.О. Ногин¹,
кандидат
военных наук,
arvsn@mil.ru;
R.O. Nogin



Е.Н. Кузин¹,
старший научный
сотрудник,
кандидат
технических наук,
arvsn@mil.ru;
E.N. Kuzin



В.И. Загарских¹,
доцент,
кандидат
технических наук,
arvsn@mil.ru;
V.I. Zagarskih



В.В. Ефанов²,
профессор,
доктор
технических наук,
*vladimir_efanov@
laspace.ru;*
V.V. Efanov



А.А. Моишев²,
кандидат
технических наук,
*moishevaa@
laspace.ru;*
A.A. Moischev



¹ ФГКВОУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого», Россия, Московская область, г. Балашиха.
The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great, Russia, Moscow region, Balashikha.

² АО «НПО Лавочкина», Россия, Московская область, г. Химки.
Lavochkin Association, Russia, Moscow region, Khimki.

В статье представлен материал, описывающий историю зарождения и дальнейшего успешного развития творческой научной связи одного из старейших военных учебных заведений страны – Военной академии РВСН имени Петра Великого и головной фирмы в области разработки автоматических космических аппаратов для исследований околоземного пространства и других планет Солнечной системы – акционерным обществом «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина».

Ключевые слова: пиромеханические устройства и системы; системы разделения; детонирующие удлинённые заряды; взрывчатые вещества; твёрдые топлива.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.009

Научно-техническое сотрудничество Военной академии Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого и НПО имени С.А. Лавочкина началось в тот год, когда после второго своего перепрофилирования Машиностроительный завод им. С.А. Лавочкина (так он тогда назывался) с ОКБ становится «космической» фирмой.

В результате принятого основоположником отечественной практической космонавтики С.П. Королёвым решения сконцентрировать своё внимание и внимание коллектива, возглавляемого им ОКБ-1 на проблеме «человек в космосе», он передаёт в руки своих сподвижников реализацию идей исследования и освоения космического пространства, базирующихся на применении непилотируемых средств ракетно-космической техники. Так решился вопрос о выделении межпланетного космоплавания с применением автоматических исследовательских зондов, роботизированных космических аппаратов, именованных в те годы «автоматическими межпланетными станциями», в самостоятельное направление, имеющее свою головную фирму и свою кооперацию предприятий-соисполнителей. Неслучайно выбор С.П. Королёва пал на ОКБ им. С.А. Лавочкина, Главным конструктором которого был утверждён Георгий Николаевич Бабакин, ставший достойным преемником Сергея Павловича, не только успешно продолжившим начатое Королёвым дело, но и плодотворно развившим его, сделав это направление самостоятельным и самодостаточным. Соответствующее постановление Правительства вышло в марте 1965 года. Первой задачей, решаемой коллективом ОКБ им. С.А. Лавочкина в плане «приобщения» к созданию автоматических космических аппаратов для полётов к Луне и планетам Солнечной системы,

The article covers the origin and further successful development of creative scientific communication between one of the earliest military educational institutions in the country the Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great and the parent company in the field of development of automated spacecraft for near-Earth space research and other planets of the Solar System exploration – the Lavochkin Association, JSC.

Key words: pyro mechanical devices and systems; separation systems; linear explosive substances; explosives; solid propellants.

была задача осуществления мягкой посадки на поверхность Луны. Справедливости ради надо отметить, что состояние дел по этому вопросу к началу 1965 года сложилось «кризисное», как в СССР, так и в США, предпринимавшими настоящим штурм к Луне. Ни отечественные, ни американские исследователи космоса никак не могли преодолеть некий «барьер», тормозивший стремительную экспансию человека в Космос. Ни одна из ранее предпринятых попыток доставить на лунную поверхность научную аппаратуру в работоспособном состоянии не увенчалась успехом. С 1959 по 1965 годы пять американских «Рейнджеров» и четыре советские «ЛУНЫ» совершили лишь «жёсткие» посадки (Первушин А., 2007). В такой обстановке ОКБ им. С.А. Лавочкина получает из рук С.П. Королёва эстафету по созданию автоматических КА для полётов к Луне и планетам Солнечной системы.

Вполне естественно, что первые «лавочкинские» лунные станции были копиями «королёвских» станций второго поколения серии Еб. Для аппаратов этой серии ещё в 1961–62 годах коллективом учёных Военной инженерной академии им. Ф.Э. Дзержинского (так тогда именовалась академия) под руководством профессора Б.И. Шехтера совместно с конструкторами ОКБ-1 была отработана система разрыва крепления амортизации автоматической лунной станции (АЛС).

В качестве исторической справки надо отметить, что научно-техническое взаимодействие учёных академии с ОКБ-1 С.П. Королёва началось в конце 50-х годов прошлого столетия, сразу после успешных запусков первых искусственных спутников Земли нашей страны (ПС-1, ПС-3, Д). Учёные академии уже тогда участвовали в проектировании, лабораторной

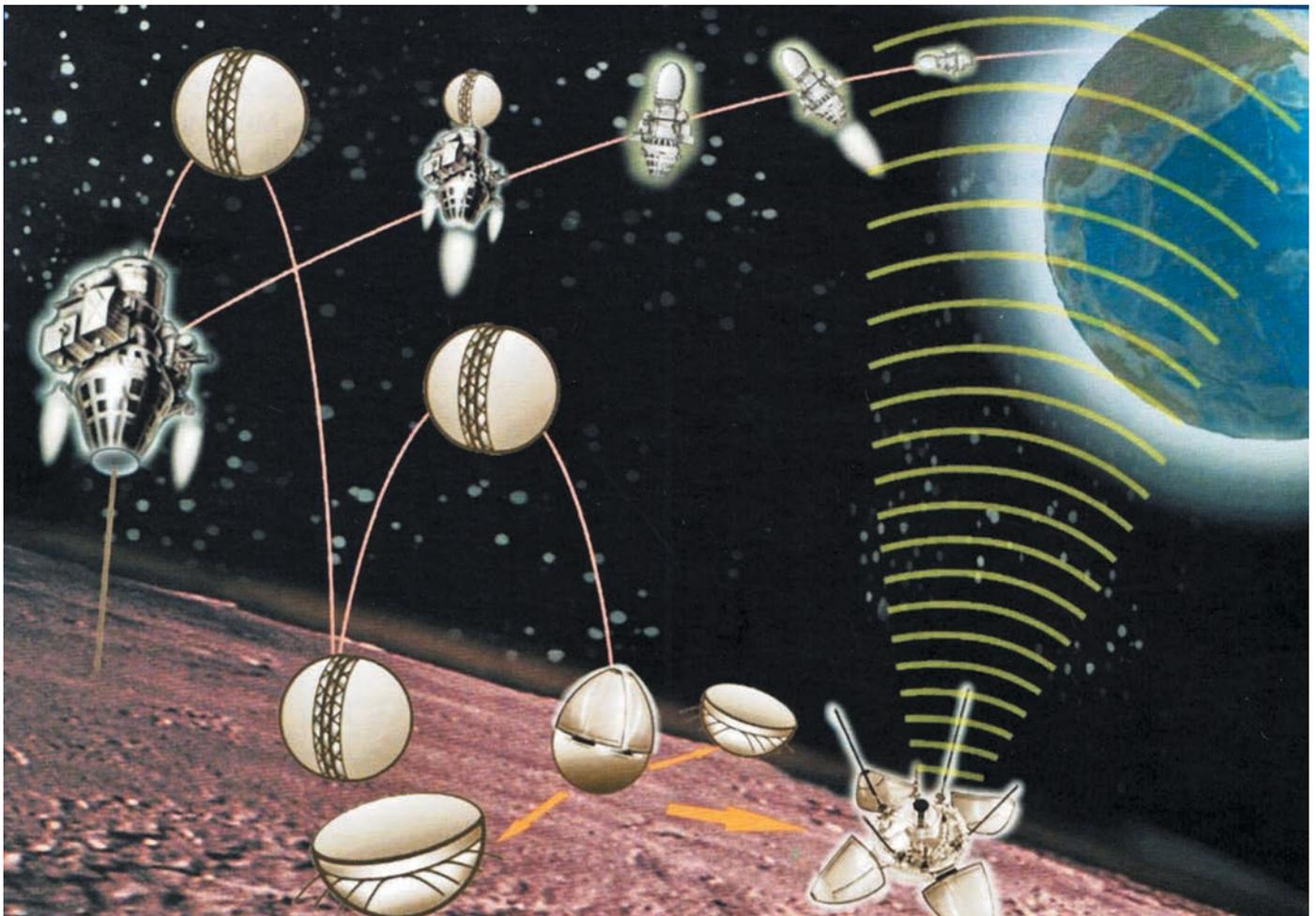
отработке, а также изготовлении и монтаже уникальных на то время пироавтоматических систем. Например, системы доставки вымпела СССР на поверхность Луны (осуществлена КА «ЛУНА-2» 14 сентября 1959 года), системы отделения шлюзового отсека космического корабля «Восход-2», через который был осуществлён впервые в мире выход космонавта А.А. Леонова в открытый космос (18 марта 1965 года) и ряда других пиромеханизмов и устройств.

«Лунная одиссея» ОКБ им. С.А. Лавочкина началась с первой успешно выполненной работы – 3 февраля 1966 года КА серии Е6М «ЛУНА-9» совершил первую в мировой практике космоплавания мягкую посадку на поверхность спутника Земли в Океане Бурь в районе кратеров Рейнер и Марии (*Автоматические космические аппараты...*, 2010; *Ефанов В.В., Долгополов В.П.*, 2016). В декабре того же 1966 года второй КА той же серии Е6М «ЛУНА-13», оснащённый более совершенной чем его предшественник, научной аппаратурой, повторил достижения «ЛУНЫ-9», совершив вторую мягкую посадку

на лунную поверхность также в районе Океана Бурь. Так, волею судеб с новой относительно простой, но надёжной пироавтоматической системы сброса амортизации АЛС для КА «ЛУНА-9» и «ЛУНА-13» началось многолетнее плодотворное творческое сотрудничество академии и НПО им. С.А. Лавочкина.

На рисунке 1 показана схема полёта и посадки на Луну КА серии Е6М (*Автоматические космические аппараты...*, 2010). Посадочное устройство на аппаратах этой серии было выполнено из эластичного материала, представляющего собой два обволакивающих АЛС надувных баллона-амортизатора, силовая оболочка (покрышка) которых изготавливалась из капронового авизента. Внутри вкладывалась камера из листовой резины на основе натурального каучука. Баллоны-амортизаторы внутриполостно были изолированы друг от друга, но соединялись между собой механически.

Соединение представляло собой шнуровку резиновым шнуром (на ранних аппаратах применялась капроновая лента), пропущенным через специальные петли, расположенные по периметру каждого



рисунк 1. Схема полёта и посадки на Луну КА серии Е6М

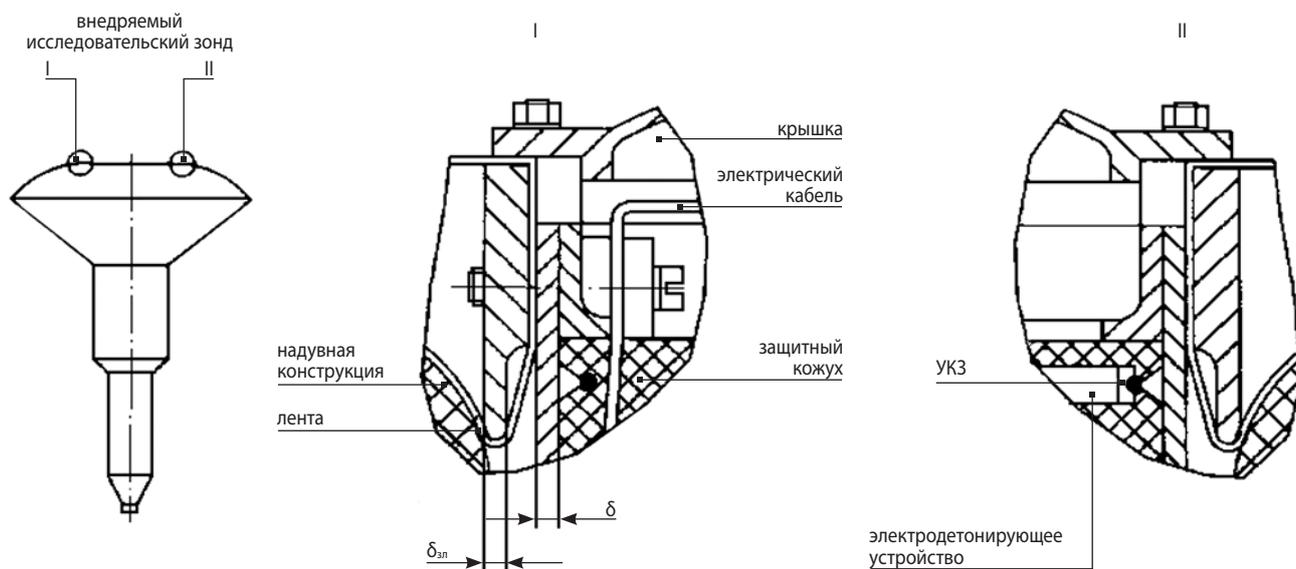


рисунок 2. Фрагмент системы разделения крышки исследовательского внедряемого зонда (пенетратора) КА «МАРС-96»

амортизатора. По петлям был проложен кольцом детонирующий шнур марки ДШВ с двумя электродетонаторами. Задействование электродетонаторов осуществлялось по сигналу от программно-временного устройства АЛС.

Заметим, что монтаж системы разделения на АЛСе при всех пусках, проведённых как ОКБ-1, так и ОКБ им. С.А. Лавочкина, осуществлялся сотрудниками академии.

На этом заканчивается этап использования в наших совместных разработках систем, пиромеханизмов и устройств на основе детонирующих шнуров и начинается новый этап – этап применения в системах разделения КА (станций, посадочных блоков, исследовательских зондов) удлиненных зарядов высокобризантных взрывчатых веществ (ВВ) кумулятивного и некумулятивного типов (УКЗ и УЗ соответственно) в металлических оболочках. Начало отечественным разработкам таких устройств было положено в середине 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия в академии группой учёных под руководством профессора Б.И. Шехтера и в НПО «Краснознаменец» Ф.Б. Тумаркиным практически одновременно. В последующем в этом направлении крупные теоретические и опытно-конструкторские работы были выполнены учеными академии во главе с В.П. Челышевым и Е.В. Никитиным. (Ефанов В.В. и др., 2003; Ефанов В.В. и др. Основы расчёта..., 2004; Ефанов В.В. и др. Энергобаллистические характеристики..., 2004). К этому же периоду можно отнести и первые зарубежные публикации, посвящённые данной проблеме. Исследования в академии проводились при рациональном сочетании фундаментальных положений физики быстропроте-

кающих процессов, теории бронепробивания, классических методов теории размерности и подобия, теории волочения и прессования, общих принципов планирования многокритериального эксперимента, а также результатов прямых и опосредованных испытаний. В результате этих исследований был создан нормированный ряд УКЗ, а также номенклатура УЗ, которые по своим параметрам по сей день, без преувеличения, можно сказать, превосходят отечественные и зарубежные типовые аналоги. Уникальность этих зарядов состоит в том, что разработанные в академии методики их проектирования и технологии изготовления позволяют в кратчайшие сроки и с минимальными материальными затратами производить их адаптацию применительно к конкретным решаемым задачам, на конкретных объектах.

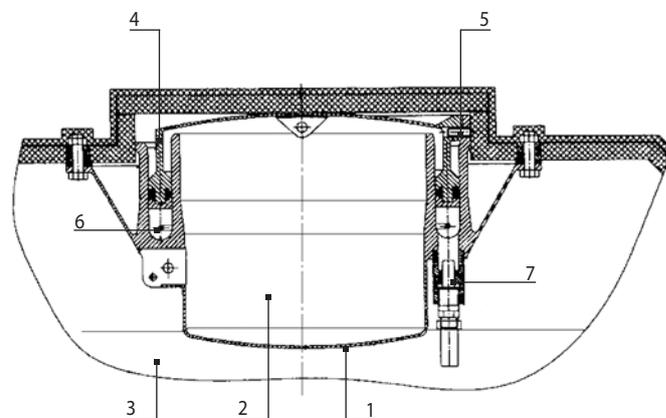
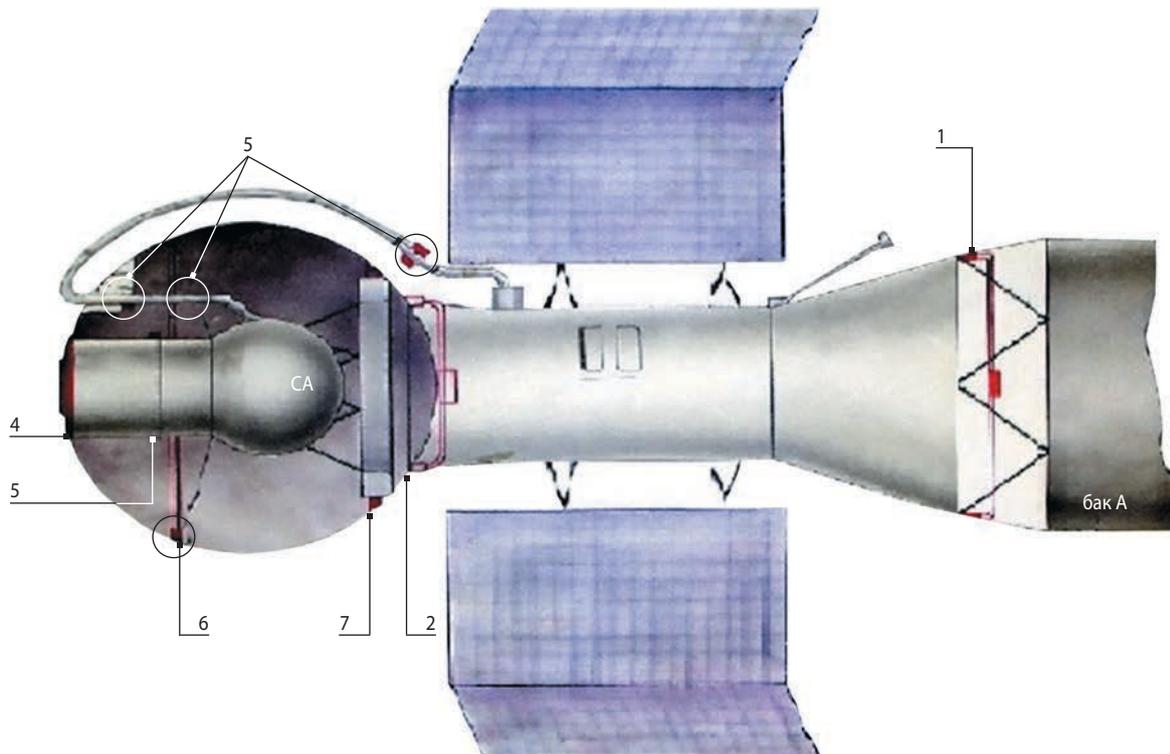
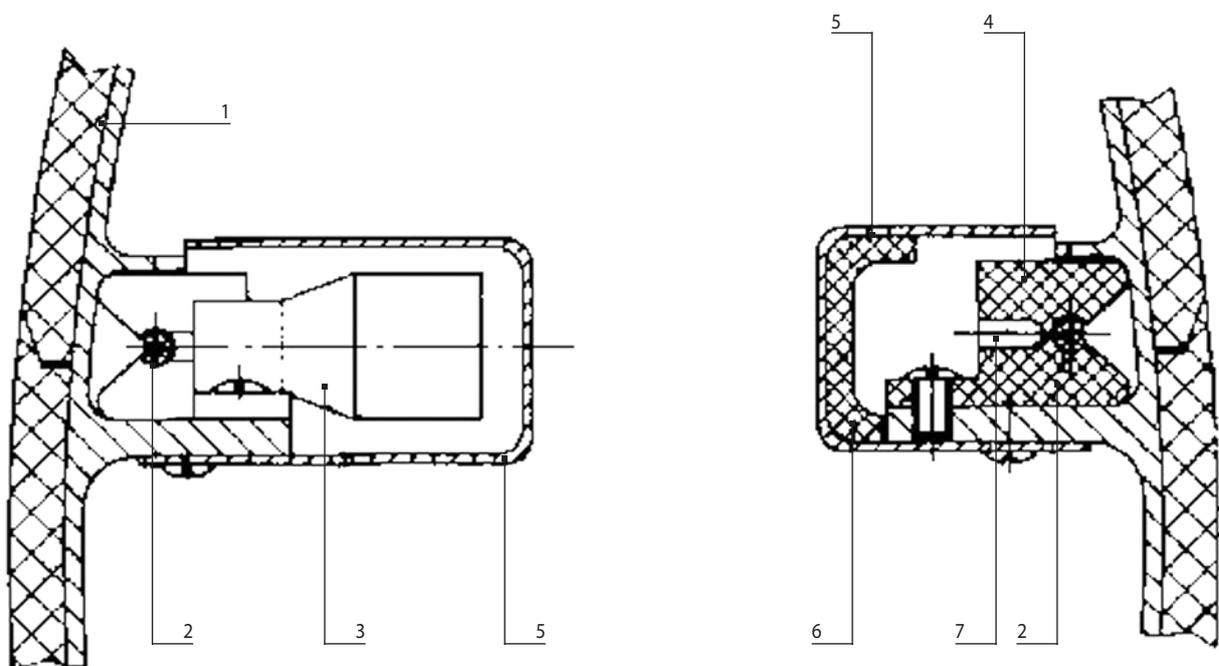


рисунок 3. Схема системы ввода парашюта



- 1 – система отделения блока Д от КА;
- 2 – система отделения СА от ОО;
- 3 – система разделения труб СТР;
- 4 – система отделения крышки ПО;
- 5 – система разделения ПО;
- 6 – система отделения верхней полусферы ТЗО;
- 7 – система отделения нижней полусферы ТЗО.

рисунок 4. Схема размещения на КА «ВЕНЕРА-9, -10» основных систем разделения



- 1 – корпус спускаемого аппарата; 2 – УКЗ;
- 3 – электродетонатор; 4 – кронштейн;
- 5 – защитные устройства; 6 – войлок; 7 – стопор.

рисунок 5. Принципиальная схема системы разделения на УКЗ для оболочечной конструкции КА

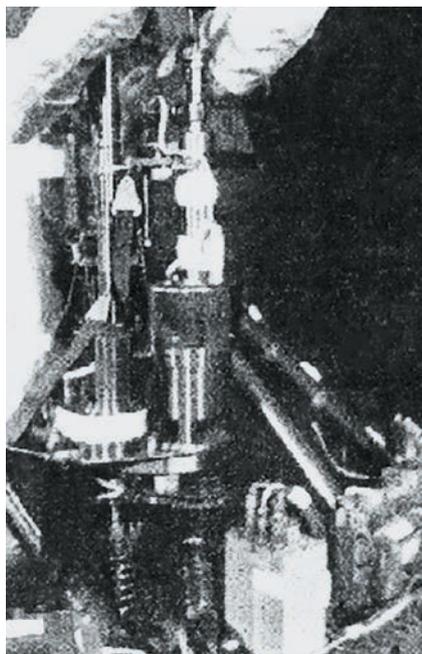


рисунок 6. Грунтозаборное устройство ВВ-02 на посадочном аппарате КА серии 4ВМ1 (слева) и его общий вид (справа)

Одной из первых совместно разработанных систем пироматерики на основе УКЗ была система отделения механизма герметизации ампулы с лунным грунтом спускаемого аппарата КА «ЛУНА-16» и «ЛУНА-20» – «лунников» третьего поколения (серии Е8-5) (*Ширшаков А.Е. и др., 2019*). Оба аппарата выполнили свою задачу и впервые в мире космические роботы доставили лунный грунт на Землю (24 сентября 1970 года и 25 февраля 1972 года соответственно).

Помимо исследований ближайшего нашего «соседа» – Луны в 70-х –90-х годах в НПО им. С.А. Лавочкина ведутся интенсивные работы по созданию КА для углубленного изучения планет Солнечной системы – в первую очередь Марса и Венеры. Учёные академии активно привлекаются к совместной разработке ряда систем пироматерики (главным образом, систем разделения) для вновь создаваемых аппаратов. С этой целью в академии создаётся участок по производству УКЗ и УЗ, совершенствуется база для проведения лабораторных и приемных испытаний зарядов и узлов, снаряжённых ими. Для изготовления УКЗ (УЗ), проведения испытаний, подготовки и отправки опытных партий зарядов в НПО им. С.А. Лавочкина в академию командуются группа опытных высококвалифицированных рабочих (слесарей-сборщиков, испытателей) объединения. Участие учёных академии в «марсианской» программе сводилось к совместной разработке комплекса систем разделения на основе УКЗ для КА серии М-71 («МАРС-2» и «МАРС-3»), и серии М-73 («МАРС-4» и «МАРС-5»). Эти системы должны были решать такие задачи, как вскрытие

отсека с парашютной системой, отделение двигателя увода парашютной системы от тормозной двигательной установки (ТДУ), отделение ТДУ от спускаемого аппарата, вскрытие защитного кожуха автоматической марсианской станции (АМС).

Несмотря на то, что в силу ряда причин программы научных исследований Марса были выполнены автоматическими космическими аппаратами только частично, тем не менее, впервые в мире была осуществлена мягкая посадка на поверхность Марса. Спускаемый аппарат (СА) КА «МАРС-3» 2 декабря 1971 года совершил мягкую посадку на поверхность планеты и в течение 20 секунд передавал видеосигнал, ретранслируемый через орбитальный аппарат в сеансах связи на Землю (*Автоматические космические аппараты...*, 2010; *Первушин А.И., 2006*).

В последующие годы для КА «МАРС-96» совместно были отработаны три системы отделения на УКЗ и УЗ: система отделения кожуха малой станции (МС), система отделения крышки и ввода парашюта МС, система отделения днища и ввода надувного тормозного устройства (НТУ) внедряемого исследовательского зонда. На рисунке 2 представлен фрагмент системы разделения крышки исследовательского внедряемого зонда (пенетратора) КА «МАРС-96».

Другой планетой, к которой обращено пристальное внимание землян, является Венера. Исследования ее занимают особое место в отечественной космической программе (*Автоматические космические аппараты...*, 2010; *Ефанов В.В. и др., 2017; Ефанов В.В., Мошнеев А.А., 2021*). В течение длительного времени Венера была основным объектом изучения с по-

мощью космических автоматов. Функционирование КА серий В-70 и В-72 («ВЕНЕРА-7» и «ВЕНЕРА-8»), спускаемые аппараты которых впервые осуществили спуск и посадку на поверхность планеты, было обеспечено созданием оптимальной системы спуска. Основу этой системы составляла парашютная система с пиромеханическим устройством его ввода в атмосферу планеты. Совместно с академией была разработана принципиально новая, уникальная, не знающая аналогов в мире система отделения крышки парашютного отсека (ввода парашюта) «поршневого» типа на основе УЗ. В данной конструкции УЗ при детонации не разрушает механические связи, а будучи размещённым в зарядной камере кольцевой формы под поршнем (стенкой крышки парашютного отсека), вырабатывает рабочий газ – продукты детонации, который выталкивает крышку отсека со строго заданными скоростью и вектором движения (*Ефанов В.В. и др. Энергобаллистические характеристики...*, 2004). На рисунке 3 приведена схема системы ввода парашюта.

Полученные КА серии В-70 и В-72 данные об атмосфере и поверхности Венеры обеспечили создание автоматических КА следующего поколения серий 4В («ВЕНЕРА-9», «ВЕНЕРА-10»), 4В1 («ВЕНЕРА-11» и «ВЕНЕРА-12»), 4В1М («ВЕНЕРА-13» и «ВЕНЕРА-14») и 5ВК («ВЕГА-1» и «ВЕГА-2»). Последние – в рамках многоцелевого международного проекта «Венера – комета Галлея» (*Автоматические космические аппараты...*, 2010; *Ефанов В.В., Мошнев А.А.*, 2021). Для обеспечения посадки на поверхность планеты Венера нашими коллективами было отработано пять систем пироавтоматики, работающих в экстремальных условиях атмосферы Венеры и обеспечивающих решение таких задач, как разделение парашютного контейнера, разделение трубопроводов системы терморегулирования спускаемого аппарата, отделение верхней и нижней теплозащитных оболочек, отделение крышки парашютного отсека. Надо отметить, что спускаемые аппараты всех указанных выше комплексов успешно совершили мягкую посадку.

На рисунке 4 показана схема размещения систем разделения на КА «ВЕНЕРА-9, -10». Номерами в закрашенных кружках отмечены системы, разработанные совместно с академией.

Принципиальная схема системы разделения оболочечной конструкции КА на УКЗ приведена на рисунке 5.

Одной из проблемных и приоритетных задач, решаемых КА «ВЕНЕРА-13», «ВЕНЕРА-14» и «ВЕГА-1», «ВЕГА-2», являлось взятие проб грунта планеты, его детальный анализ на борту посадочного аппарата (в зоне рентгено-химического анализа) и передача результатов исследования на Землю. Для этого в КБ общего машиностроения имени академика

В.П. Бармина по заданию НПО им. С.А. Лавочкина было создано уникальное грунтозаборное устройство (ГЗУ) ВБ-02, работающее в условиях сверхвысоких температур и давлений. При разработке ГЗУ необходимо было решить ряд научно-технических проблем, в частности, создать пироприводы с зарядами, выдерживающими высокие температуры, давления, ударные и динамические нагрузки. Учитывая большой опыт учёных академии в проектировании и изготовлении составов твёрдых топлив как баллистического типа, так и смесевых, на академию было возложено решение ряда проблемных задач:

- проектирование пиросоставов, обладающих повышенной термической стойкостью и строго заданным комплексом физико-механических характеристик;
- отработка технологии изготовления и испытания создаваемых пиросоставов;
- отработка технологии изготовления зарядов для пироприводов ГЗУ;
- разработка прикладной теории проектирования стреляющих пиромеханизмов с разнесенными зарядными и накопительными камерами, соединенными между собой трубопроводами;
- разработка предложений по изменению конструкции газогенераторов с целью исключения возможности возникновения ударно-волновых процессов в системе «зарядная камера – трубопровод – накопительная камера».

Все эти задачи учеными академии были успешно решены. Изготовлены, испытаны и поставлены заряды из безметалльных смесевых твердых топлив со строго заданными выходными параметрами. Забор и анализ грунта с поверхности Венеры аппаратами «ВЕНЕРА-13», «ВЕНЕРА-14» и «ВЕГА-1», «ВЕГА-2» были осуществлены, а результаты анализа переданы по каналам телеметрии на Землю. На рисунке 6 показан общий вид грунтозаборного устройства ВБ-02.

Примерно аналогичная задача решалась сотрудниками академии при создании и отработке пирозаряда для пиромеханизма системы выноса долгоживущей автономной станции (ДАС) КА серии 1Ф «ФОБОС-1», «ФОБОС-2» на поверхность спутника Марса (*Ефанов В.В., Шириаков А.Е.*, 2018).

В 2000 году в НПО им. С.А. Лавочкина успешно прошли лётные испытания спускаемого аппарата «ДЕМОНСТРАТОР-1». Запуск осуществлялся с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя «Союз» попутным грузом при квалификационных испытаниях универсального разгонного блока «Фрегат» с имитатором полезной нагрузки. На нём были установлены две системы разделения на УКЗ, обеспечившие ввод в действие надувного тормозного устройства при входе СА в атмосферу Земли

(Финченко В.С. и др., 2019). Спуск СА «ДЕМОНСТРАТОР-1» с орбиты 600 км был осуществлен 9 февраля 2000 года.

В плане решения важнейшей задачи снижения засорения космического пространства так называемым «космическим мусором» (главным образом, обломками конструкций различных аппаратов, станций, комплексов, а также средств выведения) в начале 2000-х годов нами совместно с конструкторами НПО была предложена достаточно простая и высоконадежная система на УКЗ, обеспечивающая практически полное освобождение топливных баков выполнивших свои задачи блоков, космических аппаратов, станций и т.д. от гарантированного остатка компонентов жидких ракетных топлив (Патент РФ, 2009). Система прошла успешные лётные испытания.

Конечно, материал статьи охватывает лишь часть разработок в области проектирования и создания устройств и систем пироавтоматики КА для фундаментальных научных исследований. Кроме них, был достаточно большой объём оригинальных разработок для КА прикладного назначения. Так, например, тесное научно-техническое взаимодействие академии с НПО им. С.А. Лавочкина осуществлялось и в области создания малогабаритных демпфирующих устройств на основе магнитной жидкости (Телепнев П.П., Кузнецов Д.А., 2019). Эти демпферы являются весьма эффективными как для изделий и агрегатов ракетной техники, так и для ряда перспективных космических аппаратов. Они позволяют улучшить динамические характеристики КА в процессе лётной эксплуатации, значительно уменьшив влияние микровозмущений на прецизионную целевую аппаратуру.

Надеемся, что наше плодотворное сотрудничество и впредь будет неуклонно развиваться, и укрепляться с целью решения сложных прикладных задач развития ракетно-космической техники.

список литературы

Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований / Под общ. ред. д.т.н., проф. Г.М. Полищука и д.т.н., проф. К.М. Пичхадзе. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 600 с.

Ефанов В.В., Долгополов В.П. Луна. От исследования к освоению (к 50-летию космических аппаратов «ЛУНА-9» и «ЛУНА-10») // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4. С. 3-8.

Ефанов В.В., Кузин Е.Н., Пичхадзе К.М., Челышев В.П. Основы расчета импульсов сил, действующих на конструкции КА при разрезании удлиненными кумулятивными зарядами // Общерос. научно-техн. журнал «Полет». 2004. № 2. С. 3-10.

Ефанов В.В., Кузин Е.Н., Пичхадзе К.М., Челышев В.П. Энергобаллистические характеристики де-

тонационных систем разделения КА для планетных исследований // Общерос. научно-техн. журнал «Полет». 2004. № 5. С. 16-22.

Ефанов В.В., Кузин Е.Н., Тимофеев В.Н., Челышев В.П. Устройства и системы пироавтоматики летательных аппаратов на основе линейных кумулятивных зарядов // Общерос. научно-техн. журнал «Полет». 2003. № 10. С. 42-49.

Ефанов В.В., Мартынов М.Б., Карчаев Х.Ж. Летательные аппараты НПО имени С.А. Лавочкина. Вчера. Сегодня. Завтра (к 80-летию предприятия) // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 2. С. 5-16.

Ефанов В.В., Мошнеев А.А. Вячеслав Михайлович Ковтуненко – учёный и конструктор космической техники // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2021. № 3. С. 3-13.

Ефанов В.В., Мошнеев А.А. Первый космический проект Г.Н. Бабакина // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2021. № 2. С.3-7.

Ефанов В.В., Ширшаков А.Е. Исследование Марса и его спутников перспективными межпланетными станциями НПО им. С.А. Лавочкина (к 30-летию запуска КА «ФОБОС-2») // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. № 1. С. 3-9.

Космический полет НПО им. С.А. Лавочкина / Под общ. ред. д.т.н., проф. К.М. Пичхадзе и д.т.н., проф. В.В. Ефанова. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 692 с.

Патент РФ № 2359216, МПК F42В. Способ удаления остатков жидких ракетных топлив из отделяющихся частей средств выведения / Кузин Е.Н., Балакин А.А., Ефанов В.В., Селингинский И.Н.; № 2007148527/03; заявл. 27.12.2007; опубл. 20.06.2009.

Первушин А. Красный космос. Звездные корабли Советской империи. М.: Яуза, Эксмо, 2007. 576 с.

Первушин А.И. Завоевание Марса. Марсианские хроники эпохи Великого Противостояния. М.: Яуза, Эксмо, 2006. 512 с.

Телепнев П.П., Кузнецов Д.А. Методы виброзащиты прецизионных космических аппаратов / Под ред. д.т.н. проф. Ефанова В.В. Химки: АО «НПО Лавочкина», 2019. 263 с.

Финченко В.С., Пичхадзе К.М., Ефанов В.В. Надувные элементы в конструкциях космических аппаратов – прорывная технология в ракетно-космической технике / Под ред. В.А. Колмыкова, Х.Ж. Карчаева. Химки: АО «НПО Лавочкина», 2019. 488 с.

Ширшаков А.Е., Карчаев Х.Ж., Мошнеев А.А., Лоханов И.В. На шаг впереди (к 80-летию ОКБ НПО им. С.А. Лавочкина) // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2019. № 2. С. 3-18.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022

Статья после доработки 11.02.2022

Статья принята к публикации 11.02.2022

**ОПЫТ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
4 ЦНИИ
МИНОБОРОНЫ РОССИИ
С АО «НПО ЛАВОЧКИНА»**

**EXPERIENCE OF INTERACTION
OF THE 4TH CENTRAL RESEARCH
INSTITUTE OF THE MINISTRY
OF DEFENSE OF RUSSIA WITH
LAVOCHKIN ASSOCIATION, JSC**



Г.В. Казаков¹,
*доцент,
кандидат
технических наук,
kgv.64@mail.ru;
G.V. Kazakov*



Н.Н. Котяшев¹,
*профессор,
доктор
технических наук,
knn1941@gmail.com;
N.N. Kotyashov*



М.Н. Степанов¹,
*доцент,
кандидат
технических наук,
step_m_n@mail.ru;
M.N. Stepanov*



¹ ФГБУ «4 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, Московская область, г. Королёв.

The 4th Central Scientific-Research Institute of the Ministry of Defense of Russia, Moscow region, Korolev.

Рассмотрены основные периоды сотрудничества ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России и АО «НПО Лавочкина». Представлены достижения организаций в области реактивного вооружения в первом периоде. Второй период характеризуется участием организаций в лунной программе и программах межпланетных перелётов. Раскрыты современный этап сотрудничества, планы и результаты совместных работ.

Ключевые слова: баллистическое обеспечение; командно-измерительный комплекс; космический аппарат; лунная программа; межпланетный перелёт; реактивная артиллерия; траектория полёта.

DOI: 10.26162/LS.2022.56.2.010

Постановлением Правительства СССР от 13 мая 1946 года было определено создание в стране современной ракетостроительной промышленности, в соответствии с которым предусматривалось создать вновь или перевести на работы в области ракетной техники широкий круг научных учреждений и машиностроительных предприятий страны различных ведомств (*Военно-космические силы*, 1997).

Министерство Вооружённых Сил СССР, являясь заказчиком всех видов боевых ракет, принимало непосредственное участие в их разработке, в проведении лётных испытаний, создании таблиц стрельбы, правил и норм войсковой эксплуатации. Эти задачи с 1946 года выполнялись Научно-исследовательским институтом реактивного вооружения № 4 Главного артиллерийского управления (с 1953 года – 4 НИИ МО) – первым военным НИИ ракетного вооружения.

В первые годы своей деятельности 4 НИИ МО сосредоточивал основное внимание на изучении и обобщении отечественного и зарубежного опыта разработки, испытаний, производства и эксплуатации различных образцов ракетного вооружения. В 1947 году 4 НИИ МО приступил к выполнению первого плана НИР. Объектами исследований являлись баллистические ракеты дальнего следования (БРДД), неуправляемые реактивные снаряды полевой артиллерии, зенитные управляемые и неуправляемые реактивные снаряды, наземное оборудование боевых ракет.

Первый отчёт 4 НИИ МО о НИР (отчёт № 1) посвящён методам решения баллистических задач (рисунков 1). Отчёт содержал разработанную П.Е. Эльясбергом (см. фото) методику расчёта траектории ракеты А-4, основанную на упрощении уравнений движения, существенном сокращении числа используемых параметров ракеты и позволяющую, в связи

The main periods of cooperation between the 4th Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia and Lavochkin Association, JSC are considered. The achievements of the organizations in the field of jet weapons in the first period are presented. The second period is characterized by the participation of organizations in the lunar program and interplanetary flight programs. The current stage of the cooperation, the plans and the results of joint activities are overviewed.

Key words: ballistic weapons; command and measurement complex; spacecraft; Lunar program; interplanetary cruise; jet artillery; flight trajectory.

с этим, резко уменьшить затраты времени на проведение расчётов без потери точности вычислений (*В поиске стратегического равновесия*, 2016; *4 Центральный научно-исследовательский институт*, 1996).

Рассматривая задачи, которые решали ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России и АО «НПО им. С.А. Лавочкина», условно можно выделить два периода проведения ими совместных или близких по тематике работ:

Первый этап (1946–1954) – разработка реактивных снарядов, зенитного вооружения, ракет дальнего действия;

Второй этап (1965–1972, 1997–2014) – разработка и сопровождение полётов космических аппаратов (КА).

Первый этап характеризуется исследованиями в области реактивной артиллерии обеими организациями, а также в области освоения космического пространства 4 НИИ МО.

По результатам выполненных 4 НИИ МО комплексных НИР были сформулированы тактико-технические требования (ТТТ) на полевые реактивные системы и снаряды; показаны впервые в СССР возможности разработки топлив на основе перхлоратных солей в качестве окислителя, что послужило толчком к развёртыванию работ по смешанным твёрдым топливам в промышленности; разработаны методики испытаний и приёмки в серийном производстве пороховых двигателей для полевых реактивных снарядов; переданы в промышленные организации и использовались ими при отработке двигателей и снарядов имитаторы сил, действующих на заряд в полёте, для определения удельного импульса двигателей и скорости вращения турбореактивных снарядов.

Существенный вклад был внесён 4 НИИ МО в создание и совершенствование вооружения ПВО

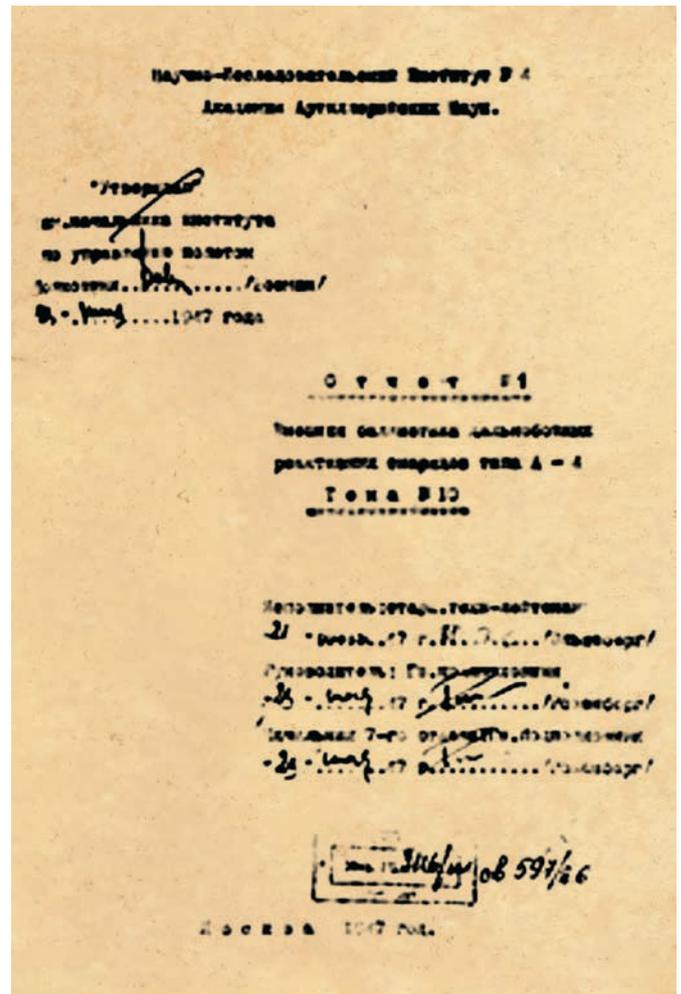


Эльясберг Павел Ефимович

Один из основоположников баллистики ракет большой дальности и космической баллистики, доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской премии (1957)

и ПРО. Впервые в стране были разработаны принципы построения систем ПРО административно-политических и военных объектов. Подготовленный 4 НИИ МО аванпроект комплекса ПРО послужил основой для разработки первой экспериментальной системы ПРО. Совместно с промышленностью были разработаны опытные образцы зенитных систем со снарядами ударного действия. По разработанным в 4 НИИ МО схемам и ТТТ была создана батарея 12-ствольных установок. Впервые в стране проводились исследования помех для тепловых головок самонаведения зенитных ракет и были разработаны методы борьбы с этими помехами.

В 1949 году в 4 НИИ МО произошли структурные изменения, вызванные необходимостью сосредоточения основных научных сил на исследованиях и разработках по баллистическим ракетам оперативно-тактического и стратегического назначения. В связи с этим фронт исследований по реактивной артиллерии и зенитным реактивным снарядам сузился.



рисунки 1. Титульный лист отчёта № 1

В это время коллективу ОКБ С.А. Лавочкина было поручено спроектировать, построить, испытать и внедрить в серию новейшие образцы ракет, обладающих высокими тактико-техническими данными. Речь шла о создании зенитных управляемых ракет (ЗУР) для первой отечественной системы ПВО (С-25).

Разработка ЗУР В-300 (заводской индекс «205») для системы ПВО С-25 началась в сентябре 1950 года, в 1951–1955 годах на ГЦП-4 прошли её лётные испытания, и в 1953 году она была принята на вооружение ПВО СССР.

Согласно первоначальному проекту система С-25 ПВО Москвы должна была включать в себя, кроме ракет В-300, самолёт-перехватчик «Г-310» (Ту-4) с ракетами «Г-300» класса «воздух-воздух» большой дальности. Разработка системы начата в 1951 году. Лётные испытания самолёта-носителя «Г-310» с макетами ракет начались в 1952 году: с мая по июнь было выполнено 10 полётов. В конце 1952 года были проведены пуски ракеты «211» с наземного пускового устройства. Однако в 1953 году все работы по ракетам «211» были приостановлены, а в августе 1954 года – прекращены.

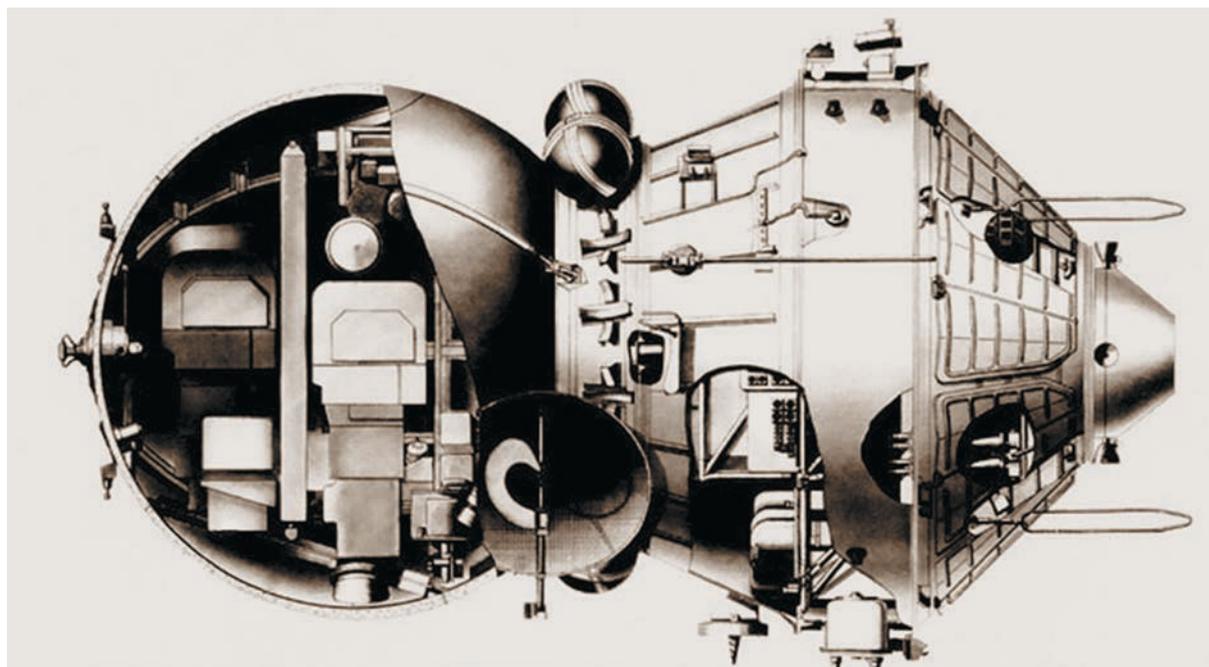


рисунок 3. Ориентированный ИСЗ («объект ОД»)

Таким образом, в период 1946–1954 годов было положено начало исследованиям вопросов боевого применения ЗУР и управляемых ракет оперативно-тактического назначения. Основное содержание работ заключалось в решении задач баллистического обеспечения пусков ракет и разработке теоретических основ составления правил стрельбы, руководств, инструкций и другой документации.

В 1954 году 4 НИИ МО ориентируется на решение проблем развития ракет большой дальности и передаёт большое количество работ, методических разработок и часть личного состава в специализированные организации Министерства обороны: во 2 НИИ МО (Войска ПВО) – работы по зенитным управляемым снарядам, в 3 НИИ МО (Сухопутные войска) – работы по реактивной артиллерии.

В ОКБ С.А. Лавочкина тем временем продолжались работы по разработке новых видов ракетно-авиаци-

онного вооружения: крылатых ракет дальнего действия (КРДД), зенитно-ракетных комплексов и др.

Ввиду занятости ОКБ-1 НИИ-88 и 4 НИИ МО работами по созданию и развитию боевых ракет Р-5 и Р-7 в 1954 году тематику по КРДД передали в Министерство авиационной промышленности. К работам были привлечены ОКБ-301 главного конструктора С.А. Лавочкина (комплекс с межконтинентальной крылатой ракетой «Буря» (изделия «350», В-350, Ла-350)) и ОКБ-23 главного конструктора В.М. Мясищева (комплекс с межконтинентальной крылатой ракетой «Буран» (изделие «40»)).

Эскизный проект «Бури» был выполнен в августе 1954 года. Техническая документация проекта была завершена в 1957 году и начато производство опытного экземпляра. Лётно-конструкторские испытания (ЛКИ) ракеты «Буря» начались 31 июля 1957 года на ГЦП-4 (Капустин Яр). Несмотря на довольно хо-



**В ЭТОМ ЗДАНИИ НИИ 4
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
В 1957-1961 ГОДАХ НАХОДИЛСЯ
КООРДИНАЦИОННО-
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ПЕРВЫЙ В МИРЕ
ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ
И ПИЛОТИРУЕМЫМИ КОРАБЛЯМИ**

рисунок 2. Координационно-вычислительный центр по управлению полётом ИСЗ

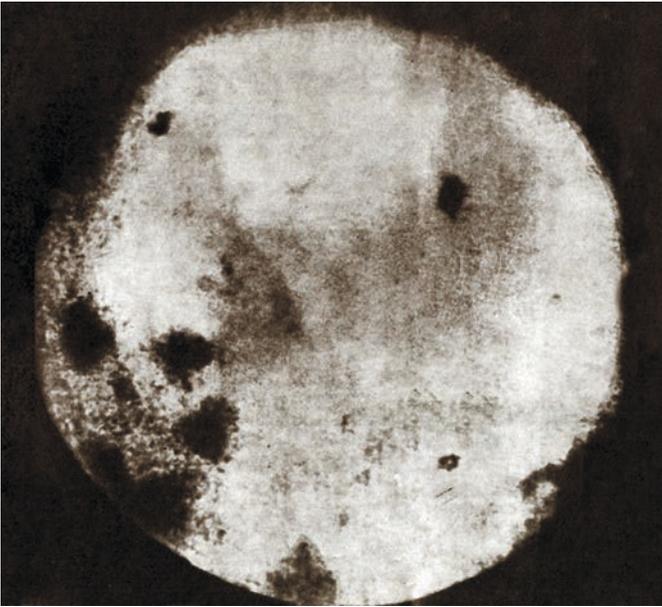


рисунок 4. Снимок Луны

рошие результаты ЛКИ (из 18 испытательных пусков ракеты, из которых четыре проведены по длинной трассе, 10 признаны успешными) было принято решение о прекращении работ по КРДД «Буря».

Другой проект – зенитно-ракетные комплексы (ЗРК) для защиты Ленинграда (проект «Даль») – начал выполняться 24 марта 1955 года. Проектирование ЗУР из состава ЗРК было завершено к августу 1957 года, а в конце 1958 года начались первые заводские лётные испытания ракеты «400». До декабря 1962 года было произведено 77 пусков. Однако ряд объективных причин не позволил довести её разработку до сдачи на вооружение, и в декабре 1962 года работа по системе «Даль» была закрыта.

С момента образования 4 НИИ МО продолжил исследования, начатые С.П. Королёвым, в области освоения космоса.

В результате теоретических разработок группы под руководством М.К. Тихонравова в 1948 году была доказана возможность создания пакетов ракет для запуска искусственного спутника Земли (ИСЗ), а в дальнейшем предложены конкретные компоновки межконтинентальных ракет пакетной схемы. Большая заслуга этой группы заключалась в том, что они впервые обосновали возможность запуска ИСЗ, разработали основы современной космической баллистики и решили ряд принципиальных вопросов освоения космического пространства (*50 лет в космическом строю*, 2016; *Алексеев Э.В., Меньшиков В.А., Мещеряков И.В.*, 2008).

В январе 1956 года на 4 НИИ МО была возложена задача проведения исследований перспектив использования космических объектов для оборонных целей и функция головного института по вопросам баллистики и организации измерений в полёте, а также по управлению КА.

3 сентября 1956 года Постановлением Правительства СССР для разработки ИСЗ и всех наземных средств была определена кооперация НИИ и КБ. В Министерстве обороны к этим работам был привлечён 4 НИИ МО с задачами баллистического обеспечения, эскизного проектирования и создания командно-измерительного комплекса (КИК), обоснования возможных направлений применения ИСЗ для решения оборонных задач.

В этот период большие трудности возникли перед Министерством обороны при развёртывании работ для решения ряда новых проблем, связанных с баллистическим и навигационным обеспечением полёта спутника, наблюдением, контролем и управлением работой его бортовой аппаратуры, а также с практической реализацией задач получения сбора, передачи и обработки всей информации при запуске КА и его орбитальном полёте.

Теоретические основы решения этих проблем были рассмотрены в выполненной 4 НИИ МО в 1955–1956 годах (руководитель НИР – А.И. Соколов, заместитель руководителя – Ю.А. Мозжорин) фундаментальной НИР, в которой были определены состав и количество командно-измерительных технических средств и их размещение на территории страны. По результатам выполненной НИР Постановлением Правительства СССР от 3 сентября 1956 года было принято решение о создании КИК. В развитие Постановления заместителем Министра обороны Маршалом Советского Союза И.С. Коневым было поручено сформировать в составе 4 НИИ МО «Центр по руководству и координации работ комплекса измерительных средств, средств связи и систем единого времени» при запусках объектов «Д», а также Научно-координационную вычислительную часть

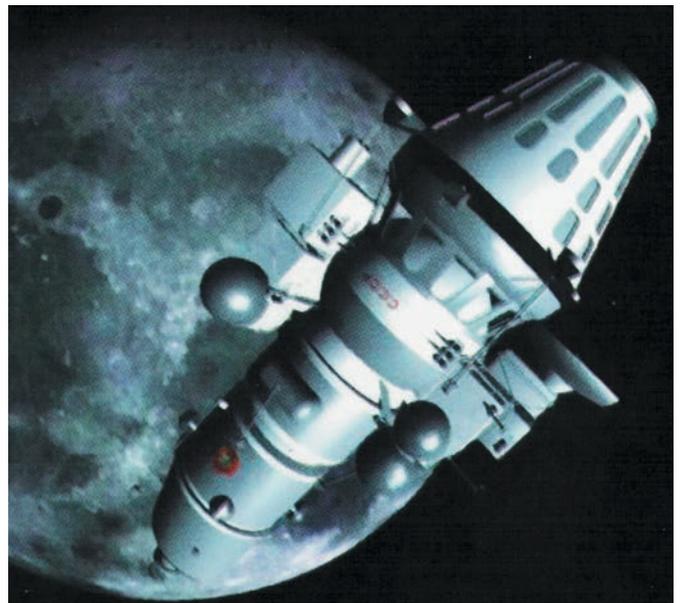


рисунок 5. «ЛУНА-14» на окололунной орбите

(НКВЧ) при нём. Координационно-вычислительный центр и НКВЧ были размещены в 4 НИИ МО (рисунок 2), откуда и осуществлялось управление работой КИК по сопровождению первого ИСЗ (рисунок 3).

Второй советский ИСЗ был запущен 3 ноября 1957 года. Его орбита была впервые определена на ЭВМ по данным измерений сотрудниками 4 НИИ МО под руководством В.Д. Ястребова. Эта задача являлась одной из первых в стране задач, поставленных и решённых на ЭВМ в практических целях.

Особенно важные достижения в области космической баллистики были достигнуты при запуске третьего ИСЗ 15 мая 1958 года, который, по сути, был космической лабораторией внушительных геометрических размеров и веса. По результатам обработки измерений в журнале АН СССР «Искусственные спутники Земли» в 1960 году П.Е. Эльясбергом и В.Д. Ястребовым была опубликована одна из первых в СССР работ в области экспериментальной космической баллистики, которая свидетельствует об успехах баллистической школы 4 НИИ МО.

За период 1959–1972 годов в рамках работ по созданию первых космических объектов по программе исследования Луны было проведено 20 лунных миссий («ЛУНА-1» – «ЛУНА-20»). Они начались в 1958 году. Была создана трёхступенчатая модификация ракеты Р-7А с новым разгонным блоком «Е», выбрана траектория, обеспечивающая доставку КА к Луне с минимальными энергетическими затратами.

Достижения в этом направлении значительны.

2 января 1959 года межпланетная станция была выведена на траекторию полёта к Луне и впервые пролетела вблизи Луны на расстоянии 5–6 тыс. км. 14 сентября станция впервые достигает поверхности Луны, доставив на неё вымпелы СССР. 4 октября 1959 года станция сделала облёт Луны, выполнила ориентацию, сфотографировала обратную сторону Луны и впервые передала фотокадры по телевизионному каналу на Землю (рисунок 4).

С 1959 года под руководством начальника 4 НИИ МО А.И. Соколова разрабатываются и вводятся в эксплуатацию: комплекс средств наблюдения, измерения и связи для первых ИСЗ; автоматизированный КИК; система специальной связи и система единого времени для обеспечения измерения координат и расчёта параметров орбит ИСЗ и других космических объектов; измерительный комплекс для лунных ракет и ракет для пуска на Марс и Венеру. В 1961 году за выполнение этих работ Ю.А. Мозжорину было присвоено звание Героя Социалистического Труда, А.И. Соколову, В.Т. Долгову и Г.И. Левину присуждена Ленинская премия.

Наиболее важными исследовательскими работами в 1960-х годах, выполненными 4 НИИ МО, являются КНИР «Щит» («Разработка и обоснование перспек-

тив развития космического вооружения»), «Основа» («Разработка и обеспечение системы вооружения средствами космической разведки») и «Единый КИК» («Разработка эскизного проекта унифицированного наземного КИК для систем спутников военного назначения»).

Условия функционирования КА при выполнении ими поставленных задач требовали автоматизации не только отдельных процессов управления, но и работы комплекса в целом. На начальных этапах освоения космического пространства автоматизация в КИК осуществлялась только наиболее критичных операций управления: съёма траекторной информации радиотехнических станций (РТС) радиоконтроля орбит, преобразования её для ввода в телеграфные каналы связи (КС) и передачи в вычислительный центр (ВЦ).

В 1958 году по техническому заданию 4 НИИ МО в ОКБ Ленинградского политехнического института была разработана и внедрена в эксплуатацию на наблюдательных информационных пунктах КИК аппаратура «ПОЗУ» – «Кварц». С её помощью осуществлялся съём траекторной информации с РТС «Бинокль-Д» и «Кама-Е», осреднение, привязка ко времени, запоминание и ввод в телеграфные КС. Для приёма траекторной информации в ВЦ была разработана аппаратура «ПУВД», с помощью которой полученная в ВЦ траекторная информация с перфокарт вводилась в ЭВМ. Основным ВЦ, осуществляющим обработку этой информации и решение баллистических задач, был ВЦ 4 НИИ МО.

В соответствии с проведёнными в 1962–1963 годах исследованиями в 4 ЦНИИ МО были обоснованы принципы комплексной автоматизации процессов управления, определена общая структура и пути построения единой автоматизированной системы управления унифицированного наземного командно-измерительного комплекса. С учётом этих принципов в 1966 году был разработан эскизный проект на систему «Скат». 4 НИИ МО отвечал за разработку алгоритмов и программ баллистического обеспечения, отдельных алгоритмов управления и оценку эффективности системы методами математического моделирования.

Вплоть до конца 1960-х годов наиболее отсталым, с точки зрения автоматизации, оставался тракт телеизмерений, где преобладала ручная обработка информации телеконтроля, что приводило к задержке её получения на 1,5–2 часа после сеанса связи с КА. Лишь в 1967 году после разработки специалистами 4 НИИ МО под руководством И.В. Мещерякова технических требований была создана аппаратура преобразования и ввода поступающих с КА измерений в ЭВМ для автоматической дешифровки – комплекс средств «СТИ-90М». Эта аппаратура совместно с ЭВМ (Минск-22, М-220, М-222) позволила оперативно проводить об-

работку данных телеизмерений, отражать результаты обработки на регистраторах и средствах отображения и передавать информацию в центр сбора и распределения для анализа и принятия решений.

Второй этап характеризуется совместными работами по лунной программе, межпланетным перелётам (1965–1972), по разгонному блоку (РБ) «Фрегат» (1997–2014).

В 1965 году программы по исследованию Луны, Марса и Венеры были переданы С.П. Королёвым высокопрофессиональному коллективу Машиностроительного завода им. Лавочкина (главный конструктор Г.Н. Бабакин, директор опытного завода А.П. Милованов). В кратчайшие сроки коллектив завода освоил и развил технологии освоения планет и спутников. В 1966–1970 годах было проведено девять успешных запусков к Луне (рисунок 5). Лётные испытания проводились Государственной комиссией под руководством заместителя Министра общего машиностроения Г.А. Тюлина (с 1946 по 1959 год сотрудник 4 НИИ МО).

В этот период сотрудниками 4 НИИ МО выполнены крупные КНИР со всесторонним обоснованием военных задач космических средств и путей их решения, проведены теоретические исследования возможности создания и практического использования в военных целях обитаемых космических кораблей, включая вопросы возвращения на Землю. Институт руководил созданием в СССР Центра наблюдения и управления дальними космическими объектами. С помощью этого Центра был проведён ряд работ по обеспечению запусков к Луне, Марсу и Венере, а также радиолокация Венеры. За участие в этих работах сотрудник 4 НИИ МО доктор технических наук М.Д. Кислик был удостоен звания лауреата Ленинской премии (*4 Центральный научно-исследовательский институт*, 1996).

Исследования планет Венера и Марс были начаты ещё в 1961 году, а в 1965 году были осуществлены запуски аппаратов «МАРС-1» и «ВЕНЕРА». Коллектив КБ им. С.А. Лавочкина и опытного производства продолжил программу исследований планеты Венера запусками «ВЕНЕРЫ-4» в июне 1967 года, «ВЕНЕРЫ-5» и «ВЕНЕРЫ-6» – в январе 1969 года. Хотя все три аппарата и не достигли поверхности планеты, их плавный спуск в атмосфере планеты позволил получить уникальную информацию о её параметрах: температуре, давлении, плотности, химическом составе и т.д. (*Военно-космические силы*, 1997).

С середины 1990-х годов в НПО им. С.А. Лавочкина начались работы по созданию универсального РБ «Фрегат» с маршевой двигательной установкой многократного запуска. 9 февраля 2000 года запуском имитатора полезной нагрузки с наименованием «Демонстратор» для подтверждения выполнения требований к основным лётно-техническим

характеристикам РБ начались его лётные испытания. В 2000 году состоялись первые запуски. В рамках лётных испытаний было проведено 25 пусков РБ «Фрегат» со стартовых комплексов космодромов «Байконур» и «Плесецк» в разных условиях, которые различались между собой типом ракеты-носителя («Союз-У, -ФГ, -2 на этапах модернизации 1А и 1Б», «Зенит-2СБ80»), параметрами целевых орбит и типами космических аппаратов.

В процессе лётных испытаний 4 ЦНИИ Минобороны России были проведены экспертиза и согласование проектной, организационно-технической, эксплуатационной и баллистической документации НПО им. С.А. Лавочкина на пуски ракет-носителей с РБ «Фрегат»; проводились работы по отработке технологии и оценке характеристик навигационно-баллистического обеспечения полёта РБ. На этапе подготовки и проведения лётных испытаний РБ «Фрегат» Баллистический центр 4 ЦНИИ Минобороны России являлся Головным баллистическим центром и решал следующие функциональные задачи:

- навигационное обеспечение на этапе полёта РБ «Фрегат» (приём, обработка измерительной и навигационной информации, определение параметров движения РБ);
- оценка качества измерительной информации;
- оценка соответствия фактической траектории полёта РБ номинальной траектории;
- оценка лётно-технических характеристик РБ.

4 ЦНИИ Минобороны России надеется на дальнейшую совместную работу с АО «НПО Лавочкина» по дальнейшему освоению космического пространства.

список литературы

4 Центральный научно-исследовательский институт. 1946-1996: исторический очерк. М.: Министерство обороны Российской Федерации, 1996. 148 с.

50 лет в космическом строю: очерки истории 50 ЦНИИ МО имени М.К. Тихонравова. М.: Ассоциация «МАКСМ», 2016. 464 с.

Алексеев Э.В., Меньшиков В.А., Мещеряков И.В. На передовых рубежах: очерки истории 50 ЦНИИ МО имени М.К. Тихонравова. М.: НИИ КС им. А.А. Максимова, 2008. 273 с.

В поиске стратегического равновесия. Ветераны 4 ЦНИИ Минобороны России вспоминают. Изд. 2-е, доп. Королев: Изд-во АО «ПСТМ», 2016. 784 с.

Военно-космические силы: военно-исторический труд. Кн. 1. Космонавтика и Вооружённые Силы. М.: Издательство Санкт-Петербургской типографии № 1 ВО «Наука», 1997. 286 с.

Статья поступила в редакцию 09.02.2022

Статья после доработки 09.02.2022

Статья принята к публикации 09.02.2022

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ

1. К публикации в журнале «Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина» принимаются статьи по космической технике и технологиям, отвечающие критериям ВАК РФ по научной новизне и апробации представленных результатов натурными экспериментами (испытаниями), летной эксплуатацией или патентами на изобретения (полезные модели). Тема и основное содержание статей предварительно согласовываются с редколлегией журнала.

2. Статьи из других организаций направляются в адрес АО «НПО Лавочкина» с сопроводительным письмом на имя главного редактора журнала. К статье необходимо приложить оформленный акт экспертизы, заключение комиссии по экспортному контролю и рецензию.

3. Между авторами статей и редакцией журнала заключается лицензионный договор о передаче неисключительных прав.

4. Статья должна быть подписана всеми авторами. Объём статьи должен быть не менее 12 и не более 17 страниц текста и 8 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы.

5. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным в следующей последовательности:

- индекс УДК (слева);
- инициалы и фамилии авторов, учёное звание и учёная степень каждого из авторов, должность, место работы (полное название организации, страна, город), контактная информация (e-mail), заглавие статьи, краткая аннотация (5–7 строк), ключевые слова (5–6 слов) на русском языке и на английском языке;
- основной текст;
- список литературы.

6. Рукопись статьи предоставляется в одном экземпляре, напечатанном на принтере на одной стороне стандартного листа формата **A4**.

7. Набирать текст и формулы необходимо в **MS Word 2010**, используя стандартные шрифты **Times New Roman**, размер – **14**, интервал – **полтора**. Поля со всех сторон – **25 мм**.

8. Формулы набираются латинским алфавитом, размер шрифта 14. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

9. Все используемые буквенные обозначения и аббревиатуры должны быть расшифрованы. Размерность величин должна соответствовать системе СИ.

10. Элементы списка литературы должны содержать фамилии и инициалы авторов, полное название работы. Для книг указывается место издания, издательство, год издания, количество страниц. Для статей – название журнала или сборника, год выпуска, том, номер, номера первой и последней страниц.

11. Рисунки и графики оформляются в **цветном** изображении, должны быть чёткими и не требовать перерисовки. Шрифт текста в иллюстративном материале **Arial Reg**, со **строчных букв** (кроме названий и имён).

12. Таблицы должны быть пронумерованы, иметь краткое наименование, межстрочный интервал в наименовании таблицы одинарный, выравнивание по ширине страницы. Текст в таблице печатается со строчных букв, без полужирного начертания.

13. После принятия статьи к публикации предоставить в электронном виде в адрес электронной почты vestnik@laspace.ru следующие файлы:

- сформированной статьи, тип файла **.docx**;
- рисунков, графиков, тип файла **.jpg**, или **.tiff**, разрешение не менее **300 dpi**, размер не более формата A4;
- фотографий авторов, тип файла **.jpg**, или **.tiff**, разрешение не менее **300 dpi**, размер не менее 10×15;
- сведений об авторах, тип файла **.docx**.

В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), учёное звание, учёную степень, аспирант или соискатель учёной степени, домашний и рабочий телефоны (с кодом города), мобильный (предпочтительней), адрес электронной почты.

Консультации по правильному оформлению подаваемых материалов Вы можете получить у сотрудников редакции по тел.: 8 (495) 575-55-63.

издатель

ОРДЕНА ЛЕНИНА, ДВАЖДЫ ОРДЕНОВ ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АО «НПО ЛАВОЧКИНА»

редактор В.В. Ефанов

корректоры М.С. Винниченко, Н.В. Пригородова

вёрстка А.Ю. Титова

художественное оформление журнала, обложек, оригинал-макета –

«СТУДИЯ Вячеслава М. ДАВЫДОВА»

подписано в печать 25.05.2022. формат 60×84/8.

бумага офсетная. печать офсетная. объём 12 печ. л. тираж 350 экз. цена свободная

отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Вертола»
424004, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Льва Толстого, д. 45

подписку на журнал
ВЕСТНИК
НПО имени С.А. Лавочкина
можно оформить на почте.
подписной индекс № 37156
в каталоге «ПЕРИОДИЧЕСКИЕ
ИЗДАНИЯ. ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ»
ООО ГК «УРАЛ-ПРЕСС»



ежеквартальный
научно-технический журнал
«Вестник «НПО имени С.А. Лавочкина»
издаётся с 2009 года.

включён:

- в базу данных российского индекса научного цитирования (РИНЦ);
- в перечень российских рецензируемых научных журналов ВАК по группе научных специальностей 05.07.00 авиационная и ракетно-космическая техника.

основные тематические направления:

- ракетная и космическая наука и техника
- непилотируемые средства для исследования Луны, планет и космического пространства
- проектирование, расчёт, математическое моделирование, производство, эксплуатация, управление полётом, баллистика, космическая навигация и др.

журнал адресован учёным, специалистам, аспирантам и студентам научно-исследовательских институтов, опытно-конструкторских бюро, университетов и промышленности, занимающихся решением теоретических и практических проблем

адрес редакции:

141402, Московская область, г. Химки, ул. Ленинградская, д. 24.
телефоны: (495) 575-5563, (495) 575-5469, факс: (495) 575-0068
vestnik@laspace.ru, <http://www.vestnik.laspace.ru>

АРКА

СПЕКТР-РГ

ГРАНАТ

СПЕКТР-Р

АСТРОН

СПЕКТР-УФ

7 2022

1	2	3				
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

8

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

9

1	2	3	4			
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

10

1	2					
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

11

1	2	3	4	5	6	
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

12

1	2	3	4			
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	