ISSN 2411-7943

Т. 6 № 3
2018

идеи и новации

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА:

30-ЛЕТИЕ ПОЛЕТА «БУРАНА»

Материалы Девятого Международного Аэрокосмического Конгресса IAC'18

ISSN 2411-7943

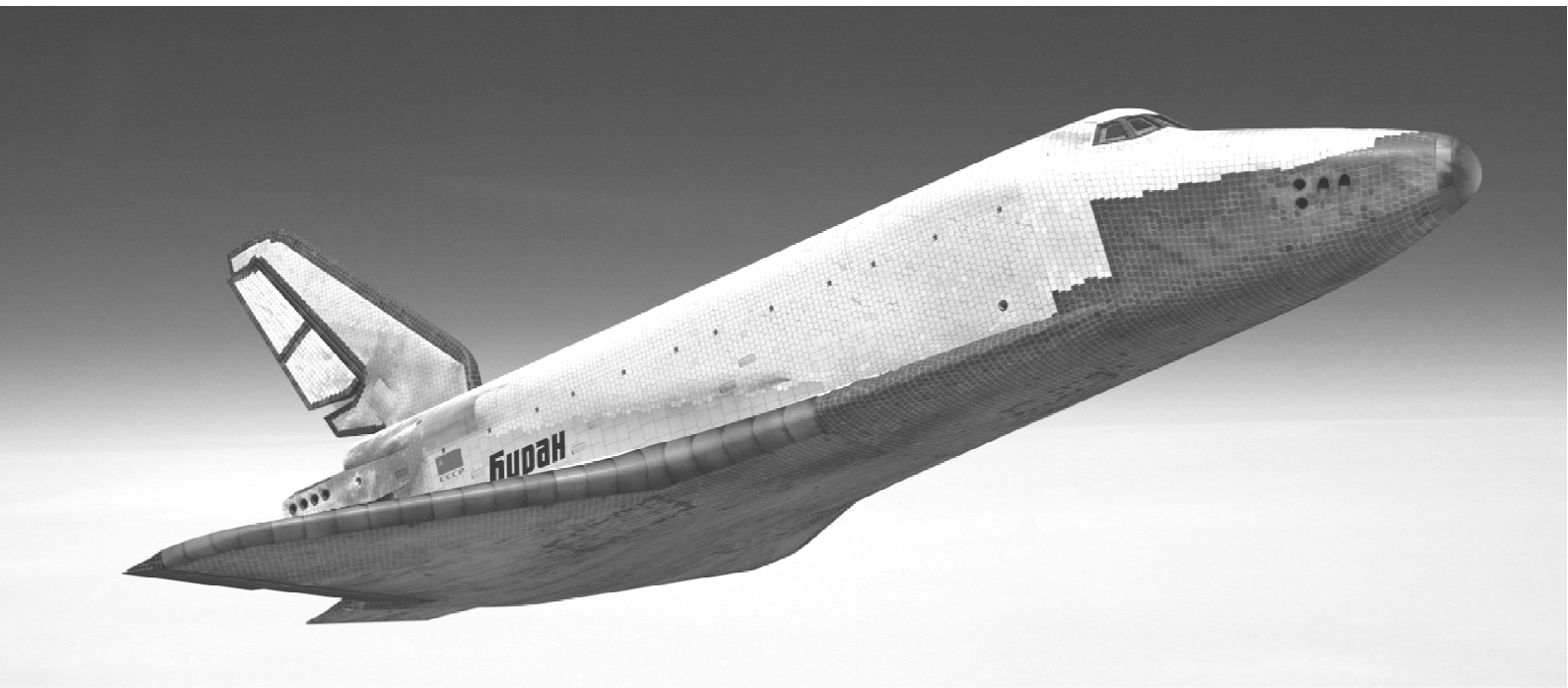
идеи и новации

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА:

30-ЛЕТИЕ ПОЛЕТА «БУРАНА»

Материалы Девятого Международного Аэрокосмического Конгресса IAC'18



Т. 6 № 3
2018

ИДЕИ И НОВАЦИИ

Научно-практический журнал

Научно-практический журнал «ИДЕИ И НОВАЦИИ» готов предоставить свои страницы для публикации статей, содержащих интересные идеи и предлагающих пути их реализации.

Журнал ориентирован на представителей естественных, технических и гуманитарных наук, так как на их стыке рождаются новые направления научного поиска.

Ключевыми направлениями журнала являются:

- естественные и технические науки;
- экономика и управление отраслями;
- искусствоведение и культурология;
- история науки.

Редакционный совет журнала

Председатель – Дугин Евгений Яковлевич, доктор социологических наук, профессор, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии», г. Москва, Россия

Главный редактор – Коханова Людмила Александровна, доктор филологических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Заместители главного редактора – Речицкий Леонид Антонович, кандидат исторических наук доцент, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии», г. Москва, Россия

Мельников Владимир Анатольевич, Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополь, г. Севастополь, Россия

Барковский Андрей Львович, доктор микробиологических наук и окружающей среды, профессор, Университет Свободных искусств Штата Джорджия, г. Милледжвилл, США

Бурак Петр Иосифович, доктор экономических наук, профессор, вице-президент Российской академии естественных наук (РАЕН), директор Института региональных экономических исследований, г. Москва, Россия

Валеева Людмила Владимировна, кандидат филологических наук, доцент, Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского, г. Симферополь, Россия

Ванев Георгий Станев, доктор политических наук, профессор, главный редактор газеты «Работнический вестник», г. София, Болгария

Губарев Владимир Степанович, писатель, драматург, научный журналист, г. Москва, России

Гусев Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Президент Российской и международной инженерных академий, г. Москва, Россия

Данилов Анатолий Порфирьевич, кандидат исторических наук, профессор, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Демчук Артур Леонович, кандидат философских наук, доцент, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Елисеев Борис Петрович, доктор технических наук, доктор юридических наук, профессор, ректор Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Москва, Россия

Ерешко Феликс Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом информационно-вычислительных систем, Вычислительный центр имени А.А. Дородницына ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия

Игнатов Евгений Иванович, доктор географических наук, академик РАЕН, Московский государственный университета имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия

Комиссаров Валерий Петрович, кандидат филологических наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Кэмпбелл Ян, доктор философии, профессор, Высшая школа экономики, г. Прага, Чехия

Левашова Валентина Андреевна, кандидат филологических наук, доцент, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Либерзон Марк Романович, доктор физико-математических наук, профессор, вице-президент Российской инженерной академии, г. Москва, Россия

Меденников Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Международный научно-исследовательский институт проблем управления (МНИИПУ), г. Москва, Россия

Самойлов Вячеслав Александрович, доктор экономических наук, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва, Россия

Семенова Виктория Владимировна, доктор социологических наук, профессор, Государственный академический университет гуманитарных наук, г. Москва, Россия

Тикунов Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Черняк Александр Викентьевич, доктор исторических наук, профессор, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии», г. Москва, Россия

Ответственный редактор – Савари Камилла Камильевна, проректор, Институт региональной журналистики, г Москва, Россия

Учредители: Общероссийская общественная организация «Российская инженерная академия» (РИА); Автономная некоммерческая организация «Институт региональной журналистики»; Общество с ограниченной ответственностью «ТВОРЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ “СОЮЗ”».

Адрес редакции: 109004, Москва, ул. Александра Солженицына, д. 19, стр. 2
Телефоны: +7(977) 807-3397, +7(499) 343-8947
e-mail: ideasnov@yandex.ru
www.ideasnov.ru.

© ООО «Российская инженерная академия» (РИА), АНО «Институт региональной журналистики», 2018

ISSN 2411-7943

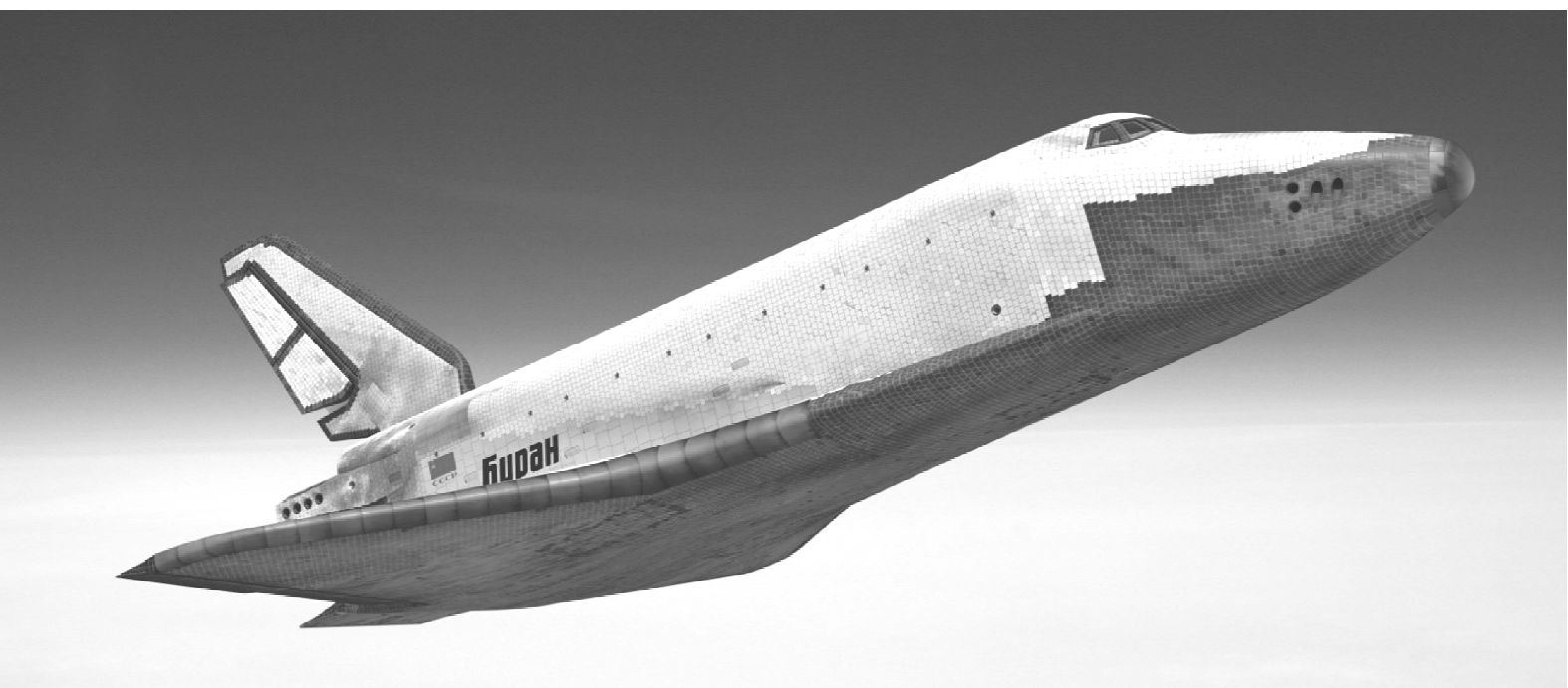
IDEAS AND INNOVATIONS

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

SPECIAL TOPIC OF THIS ISSUE:

THE 30th ANNIVERSARY OF THE «BURAN» FLIGHT

Papers from the Ninth International Aerospace Congress IAC'18



Vol. 6 No. 3
2018

IDEAS AND INNOVATIONS

Scientific and practical journal

The «Ideas and Innovations» academic and practical journal is ready to dedicate its pages to the publication of articles with interesting ideas and suggestions for their implementation. The journal targets representatives of natural and technical sciences and humanities because at the junction of these sciences, promising directions of research endeavor are often born.

The key focus areas of the journal are:

- natural and technical sciences;
- economics and management of industries;
- arts and cultural studies;
- history of science.

Editorial Board

Chair of the Editorial Board – Evgeniy Ya. Dugin, Dr. Sci. (Sociol.), Professor, Academy of Media Industry, Moscow, Russia

Chief Editor – Lyudmila A. Kokhanova, Dr. Sci. (Philol.), Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Deputy Chief Editor – Leonid A. Rechitskii, Cand. Sci. (Hist.), Associate Professor, Academy of Media Industry, Moscow, Russia

Vladimir A. Melnikov, Branch of Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Sevastopol, Russia

Andrey L. Barkovsky, Full Professor, College of Arts & Sciences – Georgia State University Campus Box 23, Milledgeville, USA

Petr I. Burak, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Vice-President of the Russian Academy of Natural Sciences, Director of the Institute of Regional Economic Studies, Moscow, Russia

Lyudmila V. Valeeva, Cand. Sci. (Philol.), Associate Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Vanev Georgiy Stanev, Dr. Sci. (Politic.), Professor, Chef Editor of «Rabotnicheskii Vestnik», Sofia, Bulgaria

Vladimir S. Gubarev, Writer, Scientific Journalist, Moscow, Russia

Boris V. Gusev, Dr. Sci. (Eng.), Full Professor, President of Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia, Moscow, Russia

Anatoliy P. Danylov, Cand. Sci. (Hist.), Professor, Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Artur L. Demchuk, Cand. Sci. (Philos.), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Boris P. Eliseev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, Moscow State Technical University of Civil Aviation

Feliks I. Ereshko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Information and Computing Systems Department, Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre, Moscow, Russia

Evgeny I. Ignatov, Dr. Sci. (Geogr.), Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Valery P. Kommissarov, Cand. Sci. (Philol.), Associate Professor, доцент, Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Campbell Jan, Ph.D., Professor, Higher School of Economics, Prague, Czech Republic

Valentina A. Levashova, Cand. Sci. (Philol.), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Mark R. Liberzon, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Vice-President of Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

Viktor I. Medennikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Scientific Officer, The International Research Institute for Advanced Systems (IRIAS), Moscow, Russia

Vyacheslav A. Samoylov, Dr. Sci. (Econ.), Moscow Financial and Industrial University "Synergy", Moscow, Russia

Victoria V. Semenova, Dr. Sci. (Sociol.), Professor, State Academic University for the Humanities, Moscow, Russia

Vladimir S. Tikunov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Aleksandr V. Chernyak, Dr. Sci. (Hist.), Professor, Academy of Media Industry, Moscow, Russia

Executive Editor – Kamilla K.Savary, Vice Rector, Institute of Regional Journalism

Founders: Russian Academy of Engineering; Institute of Regional Journalism.

Postal address: 19, bldg. 2, Alexander Solzhenitsyn str., Moscow 109004 Russia
Tel.: +7(977) 807-3397, +7(499) 343-8947
e-mail: ideasnov@yandex.ru
Web-site: www.ideasnov.ru.

© Russian Academy of Engineering,
Institute of Regional Journalism, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор номера

Либерзон М.Р.
БЕЗ ПРОШЛОГО КОСМОНАВТИКИ НЕТ ЕЕ БУДУЩЕГО..... 6

Тренд-статья

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Коноваленко И.С., Тихонова К.В., Вега Р., Сото Э., Гордильо-Домингес Х.Л., Гонзалес О.
О ТЕХНОЛОГИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КОСМОНАВТИКЕ 8

К 30-летию полета «Бурана»

Башилов А.С., Лопота В.А.
К 30-ЛЕТИЮ ПОЛЁТА МНОГОРАЗОВОГО ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН»..... 16

Бородай А.С.
ИСТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН».. 21

Программы исследования Луны

Довгань В.Г.
СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ЛУНОХОДОМ (К 50-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ЭКИПАЖА ЛУНОХОДА) 29

Кондрат А.И., Митина А.А., Орешкин Г.Д., Шуров А.И.
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЁТОВ К ЛУНЕ 46

Милованов А.Г., Пугаченко С.Е.
ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ЭКИПАЖА И РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ НА ЛУНУ..... 51

Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., Онуфриенко Ю.И.
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ К ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЛУНЕ 58

Мониторинг

Джанджгава Г.И., Дядищев А.В., Гарифов Р.Ш.
О КОНЦЕПЦИИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИОНИКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ФИЗИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ..... 64

Малинников В.А., Савиных В.П., Учаев Дм.В., Учаев Д.В.
МУЛЬТИФРАКТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ..... 69

Либерзон М.Р., Ильинский Д.А., Погородний П.Г., Шаренков С.Б.
ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОНОД ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ШЕЛЬФЕ И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ.. 75

Подготовка космонавтов

Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А., Сохин И.Г., Крючков Б.И.
РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ: ПРОШЛОЕ, СОВРЕМЕННОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 82

Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А., Фокин В.Е., Сорокин В.Г., Кислицын В.Н.
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА 87

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 93

CONTENTS

Editor of the issue

Liberzon M.R.
THERE IS NO FUTURE FOR SPACE EXPLORATION WITHOUT ITS PAST 6

Trend article

Sadovnichii V.A., Alexandrov V.V., Alexandrova T.B., Konovalenko I.S., Tikhonova K.V. , Vega R., Soto E., Gordillo-Dominguez H.L., Gonzalez O.
ON VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN OUTER SPACE ACTIVITIES 8

In Commemoration of the 30th Anniversary of the «Buran» Flight

Bashilov A.S., Lopota V.A.
IN COMMEMORATION OF THE 30th ANNIVERSARY OF THE «BURAN» REUSABLE SPACESHIP ORBITAL FLIGHT..... 16

Boroday A.S.
«BURAN» ORBITAL SPACECRAFT TEST HISTORY..... 21

Moon Exploration Programs

Dovgan V.G.
FROM THE HISTORY OF THE «LUNOKHOD» OPERATION (IN COMMEMORATION OF THE 50th ANNIVERSARY OF THE CREATION OF THE «LUNOKHOD» CREW) 29

Kondrat A.I., Mitina A.A., Oreshkin G.D., Shurov A.I.
ON THE POSSIBILITY OF USING ASTRONOMICAL NAVIGATION METHODS FOR IMPLEMENTING MANNED FLIGHTS TO THE MOON 46

Milovanov A.G., Pugachenko S.E.
A RATIONAL JUSTIFICATION OF APPROPRIATE CREW SIZE AND WORK REGIMES IN DIFFERENT SCENARIOS OF MANNED MISSIONS TO THE MOON..... 51

Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Onufrienko Yu.I.
PROFESSIONAL TRAINING OF COSMONAUTS FOR EXTRAVEHICULAR ACTIVITY ON THE MOON 58

Research Monitoring

Dzhandzhgava G.I., Dyadischev A.V., Garifov R.Sh.
ON A CONCEPT FOR TECHNICAL CONDITION MONITORING OF METHODS USED FOR ANALYZING PHYSICAL MEDIA 64

Malinnikov V.A., Savinykh V.P., Uchaev Dm.V., Uchaev D.V.
MULTIFRACTAL ASSESSMENT OF THE ICE SITUATION BASED ON SPACE IMAGERY..... 69

Liberzon M.R., Ilyinsky D.A., Pogorodny P.G., Sharenkov S.B.
GEONOD TECHNOLOGY FOR OFF-SHORE SEISMIC HYDROCARBON EXPLORATION AND OBJECT DETECTION 75

Cosmonaut Training

Vlasov P.N. , Kharlamov M.M., Kuritsyn A.A., Sokhin I.G., Kriuchkov B.I.
THE RUSSIAN SYSTEM OF COSMONAUT TRAINING: PAST, PRESENT, AND FUTURE PROSPECTS 82

Vlasov P.N., Kharlamov M.I., Kuritsyn A.A., Fokin V.E., Sorokin V.G., Kislitsyn V.N.
THE USE OF AVIATION TECHNOLOGY IN THE COSMONAUT TRAINING PROCESS 87

RULES FOR AUTHORS..... 93

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Редактор номера / Editor of the issue

УДК 629.7(09)

БЕЗ ПРОШЛОГО КОСМОНАВТИКИ НЕТ ЕЕ БУДУЩЕГО

М.Р. Либерзон

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

Для цитирования: Либерзон М.Р. Без прошлого космонавтики нет ее будущего // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 6–7.

THERE IS NO FUTURE FOR SPACE EXPLORATION WITHOUT ITS PAST

M.R. Liberzon

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

For citation: Liberzon M.R. There Is No Future for Space Exploration without Its Past. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 6–7.

Уважаемый читатель!

Вы держите в руках выпуск журнала, основанный на материалах Девятого Международного Аэрокосмического Конгресса IAC'18, который работал в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова в период с 27 по 31 августа 2018 года и был посвящён 30-летию успешного полёта орбитального корабля «Буран». Этому знаменательному событию в истории исследования космоса посвящён и настоящий выпуск журнала.

Орбитальный корабль (ОК) «Буран» – это пилотируемый космический корабль многоразового использования. Над разработкой, производством и осуществлением первого космического полёта «Бурана» более 12 лет работали сотни научных и конструкторских организаций, производственных предприятий, тысячи учёных, конструкторов, инженеров, техников, рабочих, космонавтов и пилотов нашей страны. Старт ОК «Буран» в беспилотном варианте с помощью мощной ракеты-носителя «Энергия» состоялся 15 ноября 1988 года в 6:00 по московскому времени. Через 8 минут на высоте 150 км ОК «Буран» отделился от ракетоносителя «Энергия» и начал свой самостоятельный полёт. Через 40 минут ОК «Буран» вышел на рабочую орбиту высотой 250–260 км. В 8 часов 20 минут началось снижение и через 30 минут на высоте 100 км «Буран» вошёл в атмосферу. На высоте 4 км «Буран» вышел на расчетную глиссаду для посадки «по-самолётному» на взлётно-посадочную полосу. В 9 часов 24 минуты 42 секунды «Буран» коснулся ВВП и в 9 часов 25 минут 24 секунды замер в её центре.

Беспилотный космический полёт «Бурана», завершившийся точной посадкой, впервые в мире совершённой в автоматическом режиме, стал настоящим триумфом нашей отечественной науки и техники. За время работы над созданием ОК «Буран» было получено около 600 оригинальных научно-технических достижений, многие из которых были признаны мировыми приоритетами, а некоторые остаются таковыми и сейчас. В этой связи академик Ю.П. Семенов, один из руководителей работ по «Бурану», писал: «Хотелось бы выразить надежду, что государственная мудрость позволит найти оптимальный путь использования созданного достояния… Очень важно сохранить высокий качественный уровень космической промышленности, потеря которого может дорого (если не невосполнимо!) обойтись нашей стране».

Открывает этот выпуск журнала статья авторского коллектива из МГУ имени М.В. Ломоно-

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

сова, возглавляемого ректором академиком В.А. Садовничим. В статье представлены современные уникальные технологии подготовки космонавтов к космическим полётам на основе ряда методов имитации различных этапов и видов космических полётов, а также возможности использования рассматриваемых технологий непосредственно на космической орбите.

Две следующие статьи, авторами которых являются активные участники разработки, производства и испытаний орбитального корабля «Буран» А.С. Башилов, В.А. Лопота и А.С. Бородай, в деталях описывают работу над этой программой. Первая из них посвящена научно-техническим, конструкторским и производственным аспектам. Во второй освещены проводившиеся испытания, формирование и подготовка экипажа «Бурана».

Следующая группа из четырёх статей посвящена программе исследования Луны. О начальных и самых ярких этапах этой программы и людях, их осуществлявших, вспоминает генерал В.Г. Довгань, работавший в ту пору водителем доставленных на Луну луноходов. В других статьях рассматриваются специальные методы навигации для полётов к Луне и вопросы подготовки космонавтов как для полётов к Луне, так и для работы на её поверхности.

В трёх следующих статьях показаны результаты применения мониторинга как для производства, так и в целях оценки обстановки на поверхности Земли и обнаружения объектов на основе получения данных из космоса.

В заключительных статьях сотрудники Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина представляют методы подготовки космонавтов к космическим полётам и работе в космосе.

При подборке статей в настоящий выпуск журнала составители стремились представить достоверные научно-технические факты и компетентные мнения исследователей космического пространства по уже полученным в прошлом достижениям, с одной стороны, и перспективные, разрабатываемые сейчас и нацеленные в будущее научные и конструкторские исследования – с другой. Очевидна прочная связь между достигнутым в прошлом и решением крупных научно-технических проблем в будущем, без анализа прошлого нет будущего. Наработанное трудом и талантом поколений космических первопроходцев – основа продвижения вперёд, совершенствования и развития новых технологий.

Выдающиеся и уникальные научные и конструкторские достижения в исследовании и покорении космоса всегда были предметом гордости нашей страны, её неоспоримым конкурентным преимуществом. Анализируя наши космические победы и неудачи, по крупицам выделяя зёрна положительного опыта, мы сможем придать отрасли новый импульс, приводящий к новым космическим победам.

Думается, что настоящий выпуск журнала будет интересен читателю именно представлением двух связанных взглядов на космические исследования – взгляд в прошлое и взгляд в будущее.

Космическая наука живёт сегодня новыми программами, новыми перспективными разработками, но она прочно стоит на том, что было сделано предшественниками и, в частности, создателями «Бурана». С Тридцатилетием, Дорогой «Буран»!

С уважением,
Марк Романович Либерзон

Информация о редакторе / Information about the editor

Либерзон Марк Романович
доктор физико-математических наук, профессор,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
mark@fund.ru

Mark R. Liberzon
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993 Russia*)
mark@fund.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Тренд-статья / Trend article

УДК 629.73:001.895(063)

О ТЕХНОЛОГИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КОСМОНАВТИКЕ

В.А. Садовничий, **В.В. Александров**, **Т.Б. Александрова**, **И.С. Коноваленко**, **К.В. Тихонова**, **Р. Вега**, **Э. Сото**, **Х.Л. Гордильо-Домингес**, **О. Гонзалес**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Резюме: *В статье рассмотрены: технологии виртуальной реальности, применяемые при подготовке космонавтов к аэрокосмическим полётам, и возможности применения этих технологий в орбитальном полёте.*

В настоящее время при подготовке космонавтов-пилотов (командиров космических экипажей) используются следующие технологии виртуальной реальности:

а) динамическая имитация полёта на стендах типа центрифуги с кабиной в управляемом карданном подвесе и на стендах опорного типа с подвижной платформой Стюарта;

б) 3Д-визуальная имитация полёта;

в) технология гальванической стимуляции вестибулярного аппарата;

(GVS–technology) при комбинированной имитации полёта в сложных условиях (управляемый спуск с орбиты и др.).

В статье дан краткий анализ разработок математического и программного обеспечения вышеуказанных технологий и синхронизации их реализаций для имитации трех этапов аэрокосмического полёта и полётов в окрестности орбитальной станции.

Представлена также технология гарантированного максиминного тестирования качества пилотирования, которую можно реализовать при наличии рассмотренных выше технологий виртуальной реальности. Наличие ситуации равновесия (седловой точки в соответствующей антагонистической игре) позволяет говорить о возможности объективной оценки процесса подготовки космонавта-пилота.

Вторая часть статьи посвящена анализу возможностей использования рассмотренных выше технологий на орбите. Принципиальным, например, было то, что использование компактной центрифуги на орбитальной станции даёт возможность имитировать гравитационную силу – виртуальную реальность земных условий. Однако установка и эксплуатация центрифуги на орбитальной станции сложны. В данной статье рассмотрена возможность использования GVS-технологии для имитации определённых земных условий и реализации гальванической коррекции для улучшения установки и стабилизации взора на орбите будет.

Ключевые слова: *пилотажно-динамические стенды для тренировки пилотов и космонавтов, имитация визуальной дезориентации, математическая интерпретация.*

Для цитирования: *Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Коноваленко И.С., Тихонова К.В., Вега Р., Сото Э., Гордильо-Домингес Х.Л., Гонзалес О. О технологиях виртуальной реальности в космонавтике // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 8–15.*

ON VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN OUTER SPACE ACTIVITIES

V.A. Sadovnichii, **V.V. Alexandrov**, **T.B. Alexandrova**, **I.S. Konovalenko**, **K.V. Tikhonova**, **R. Vega**, **E. Soto**, **H.L. Gordillo-Dominguez**, **O. Gonzalez**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract: *The article examines virtual reality technologies used for training cosmonauts for outer space missions and discusses the possibilities of applying these technologies in orbital spaceflight.*

Presently, the following virtual reality technologies are used in the training of space pilots and crew commanders: a) dynamic flight imitation on centrifuge-like stands with a cabin in a controlled gimbal and on support-type stands with a mobile Stewart platform; b) 3-D visualization of flight imitation; c) galvanic vestibular simulation technology (GVS technology) in combined flight imitation under difficult conditions (controlled de-orbiting, etc.).

The authors make a concise presentation of mathematical and software program development supporting the above-mentioned technologies and the synchronization of their realizations for the imitation of the three stages of a space flight and flights near the orbital station. They also present the technology of guaranteed maximin testing of piloting quality which can be implemented subject to the availability of the above-mentioned virtual reality technologies. The presence of a stable equilibrium (a saddle point in the respective antagonistic differential game) allows to state the possibility of an impartial evaluation of the space pilot training process.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

The second part of the article analyzes the possibilities for applying the reviewed technologies in orbit. For example, it has been known in principle that the use of a compact centrifuge on the orbital station makes it possible to imitate the gravitational force – the virtual reality of earth conditions. However, the installation and operation of a centrifuge on the orbital station is complicated. The article looks at the possibility of using the GVS technology to imitate certain earth conditions and perform galvanic correction to improve gaze fixation and stabilization in orbit.

Key words: *pilot dynamic stands for the training of pilots and astronauts; imitation of visual disorientation; mathematical interpretation*

For citations: *Sadovnichii V.A., Alexandrov V.V., Alexandrova T.B., Konovalenko I.S., Tikhonova K.V., Vega R., Soto E., Gordillo-Dominguez H.L., Gonzalez O. On Virtual Reality Technologies in Outer Space Activities. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 8–15.*

При использовании пилотажно-динамических стендов для тренировки пилотов и космонавтов применение рассмотренной GVS-технологии возможно для гальванической имитации вестибулоокулярного рефлекса (ВОР) или гальванической имитации визуальной дезориентации, имеющей место быть при продолжительном орбитальном полете [7].

1. Описание эксперимента с использованием подвижной платформы Стюарта «Гальваническая коррекция качества установки взора»

Эксперимент проводился в Мексиканском национальном институте астрофизики, оптики и электроники (INAOE) на подвижной платформе Стюарта (ПС) с шестью степенями свободы в качестве генератора угловых движений.

Движение ПС задается алгоритмами динамической имитации полета самолета. Траектория полета состоит из маневра, часто используемого пилотами и называемого координированным виражом.

Траектория координированного виража имеет следующее описание: самолет (ЛА) начинает свое движение на заданной высоте, около 5000 м, с воздушной скоростью 85 м/с. Далее осуществляется первый поворот направо с программным углом крена 26 градусов. Полный координированный вираж содержит 3 части: первый поворот направо на 90 градусов по курсу с наклоном в 26 градусов вокруг продольной оси ЛА, затем полет на постоянной высоте с постоянной скоростью – 60 секунд и затем повторение первого поворота (рис. 1).

Как видно на рис. 2, компонента углового ускорения $\dot{\omega}_y$ поворота ЛА вокруг оси Y мала и находится ниже порога чувствительности вестибулярного аппарата пилота, тогда как угловое ускорение $\dot{\omega}_x$ вокруг продольной оси x ЛА находится выше порога чувствительности. В связи с этим рассматривается реакция только вертикальных каналов при правом координированном вираже.

Повороты головы и правого глаза пилота измерялись при помощи прибора ICSImpulse. Система измерений движения правого глазного яблока была помещена внутрь этого прибора и представлена окулярной видеокамерой (VOCICSImpulse).

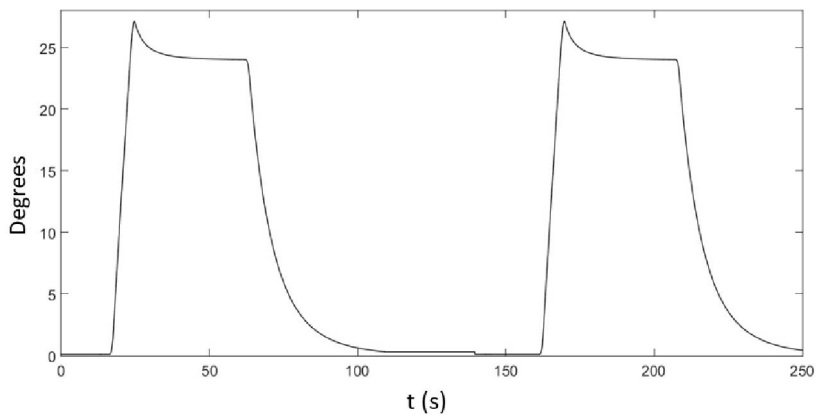


Рис. 1. Координированный вираж ЛА. Угол крена
(Fig. 1. Aircraft coordinated turn. The bank angle)

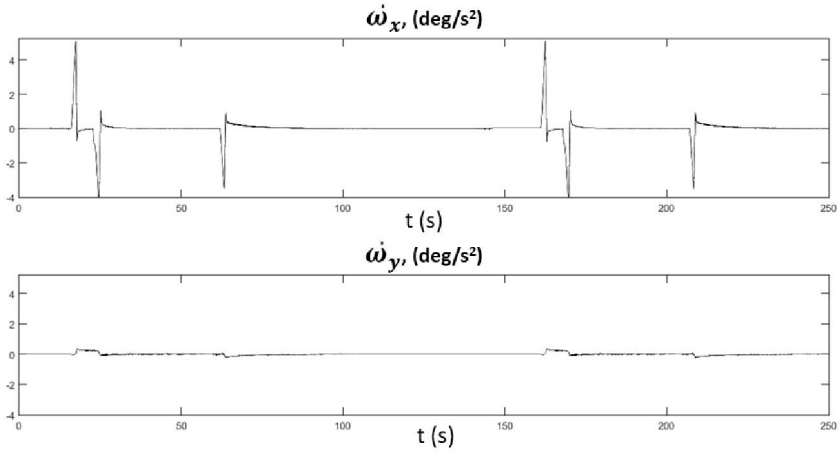


Рис. 2. Сравнение угловых ускорений поворотов
(Fig. 2. Comparison of turns angular accelerations)

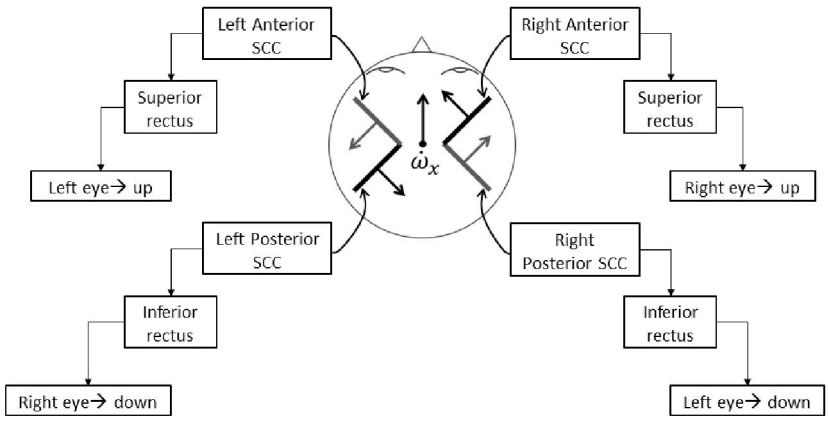
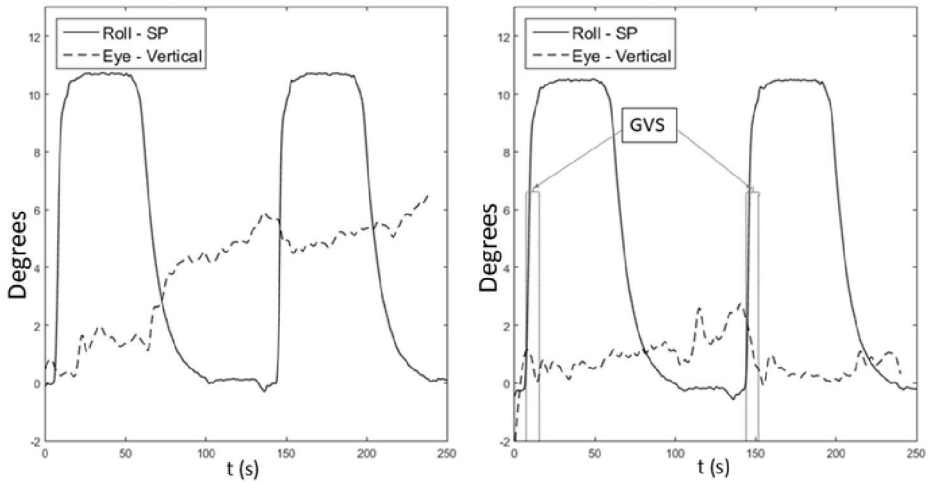


Рис. 3. Схема влияния активности вертикальных каналов на прямые глазные мышцы
(Fig. 3. Chart of the influence of vertical channels activity on the eye rectus muscles)

Из-за механических стимулов, генерируемых платформой Стюарта, пилот испытывает ощущения от координированного виража, воспринимаемые вестибулярным аппаратом. Вестибулярная система (ВС) представляет парную систему инерциальных биомеханических сенсоров во внутреннем ухе человека. Как левая, так и правая часть ВС состоит из трех полукружных каналов (латерального, сагиттального и фронтального), расположенных почти ортогонально друг к другу, а также из двух отолитовых органов (саккулюс и утрикулюс). Полукружные каналы (ПКК) воспринимают угловые повороты головы пилота. Эндолимфа, находящаяся внутри ПКК – жидкость, смещающая ампулярную купулу вместе с пучками волосков рецепторных клеток (волосковых клеток).

Экстраокулярные мышцы каждого глазного яблока представляют собой совокупность шести мышц. Эти мышцы сокращаются и расслабляются таким образом, что, когда получают электрический сигнал (серию импульсов – спайков), они активируются и поворачивают глазное яблоко вправо, влево, вверх и вниз, а также поворачивают их вокруг оси зрения. Таким образом, возбуждение (или ингибирование) ПКК зависит от механического или гальванического стимула. При осуществлении правого поворота ожидается возбуждение правого фронтального и сагиттального вертикальных ПКК в соответствии с функциональной схемой «вертикальные ПКК и прямые глазные мышцы» (рис. 3), построенной по таблице [5].



а *б*

Рис. 4. Результаты эксперимента
(Fig. 4. The results of the experiment)

В трех экспериментах участвовали три пилота, трижды производя в автопилотном режиме координированный вираж. Рассмотрим один из этих экспериментов.

Схема эксперимента:

- Выполняются два координированных поворота вправо (рис. 1).
- Пилот не выполняет никакой задачи во время проведения эксперимента, ему дана установка смотреть на экран динамического имитатора. Голова пилота неподвижна относительно подвижной платформы.
- GVS применялась к пилоту в момент начала поворота.
- В то время как имитируется траектория движения, GVS применяется только в начале двух поворотов с целью гальванической стимуляции для пилота при $\omega_x \neq 0$ (8 секунд).

2. Результаты эксперимента

Рис. 4 содержит данные, полученные вестибулоокулярной камерой VOCICSImpulse. Крен ПС на $10°$ (ввиду ограниченности геометрических ресурсов ПС) обозначен сплошной линией, а пунктирная линия указывает на движение правого глаза повертикальной оси VOCICSImpulse. Необходимо отметить, что рис. 4 показывает угловые смещения: сплошные линии – это поворот ПС во фронтальной плоскости YZ, а пунктирные линии – это угловые повороты правого глазного яблока вверх-вниз относительно вертикали VOCICSImpulse.

На рис. 4, *а* и *б* штриховой линией показаны данные видеоокулографа без гальванической коррекции и с гальванической коррекцией при установке анода в центре лобной поверхности и катода на поверхности мастоидной кости. На графике, представленном на рис. 4, *а*, имеет место ошибка установки взора до 6 градусов по относительной вертикали VOCICSImpulse. На графике, представленном на рис. 4, *б*, благодаря гальванической коррекции 2 мА, реализованной в начале поворота в течение 8 секунд, имеет место улучшение установки взора в 3 раза.

3. Задача об обратном переходе как математическая интерпретация экспериментального результата гальванической коррекции

Рассмотрим нелинейную систему

$$\begin{cases} C_m \frac{dV}{dt} = I_{syn} + \gamma_1 P(t) - g_L(V - V_L) - I_{\mathrm{Na}} - I_{\mathrm{K}}, \\ \frac{dn}{dt} = \frac{n_\infty(V) - n}{\tau_n(V)} Q_{10} \end{cases} \quad (1)$$

с функциональным включением вида

$$v_1(\cdot) \in V = \{v_1(\cdot) \in L_2 \cap L_\infty: \\ 0 \le v_1(t) \le \gamma_1 \delta_1 \text{ для } t \in (0, t_1 < \infty), \\ v_1 \equiv 0 \text{ для } t > t_1\}.$$

Уравнения (1) являются модификациями уравнений Ходжкина – Хаксли с учетом экспериментальных данных и температурного фактора Q_{10}, описывающих непрерывные по времени марковские процессы с дискретным числом состояний. Здесь: V – потенциал действия нейрона; n – вероятность проницаемости каналов калия; I_{syn} – постоянное значение синаптического тока; $P(t)$ – ток коррекции, I_{Na}, I_{K} – ток натрия и ток калия:

$$I_{\mathrm{Na}} = g_{\mathrm{Na}}(m_\infty(V))^3(C(V) - n)(V - V_{\mathrm{Na}}),$$
$$I_{\mathrm{K}} = g_{\mathrm{K}} n^4 h_{\mathrm{K}}(V - V_{\mathrm{K}}).$$

Функциональные параметры имеют вид

$$m_\infty(V) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{V+33{,}8}{5{,}2}}};$$
$$h_{\mathrm{Na}\infty}(V) = \frac{1}{1 + e^{\frac{V+60{,}5}{9{,}9}}};$$
$$n_\infty(V) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{V+35}{5}}};$$
$$\tau_n(V) = \frac{68}{e^{-\frac{25+V}{15}} + e^{-\frac{V+30}{20}}};$$
$$Q_{10} = a^{\frac{T-T_0}{10}};$$
$$C(V) = n_\infty(V) + h_{\mathrm{Na}\infty}(V).$$

Численные параметры представлены в [1].

В окрестности периодического решения $(V^0(t), n^0(t))$ системы (1) может быть построена система в вариациях, начало координат которой с течением времени будет двигаться по орбите периодического аттрактора:

$$\dot{x} = A(t)x + bv_1(t), \qquad (2)$$

где $b = (1{,}0)^T$; $T = 35{,}2$ мс – период автоколебаний системы (1);

$$A(t + T) = A(t)\ (\gamma_1 = 0{,}1, \delta_1 = 1).$$

Для данного построения движения по орбите предельного цикла необходимо проинтегрировать систему (1) при $I_{syn} = 0{,}99\,\frac{\text{мкА}}{\text{см}^2}$ и $v_1(t) \equiv 0$ на интервале $[0, T]$, разделив весь интервал интегрирования на 1000 подынтервалов и получив массивы точек $[V_i^0(t_i), n_i^0(t_i)]$. Далее при нахождении частных производные правых частей системы (1), подставляя в них значения $[V_i^0(t_i), n_i^0(t_i)]$, получим массив значений искомой матрицы $A(t)$. На каждом подынтервале необходимо построить сплайн-аппроксимацию матрицы $A(t)$ и найти нормированную фундаментальную нормированную матрицу $X(t)$ решений, проинтегрировав систему $\dot{X} = A(t)X$ с начальными условиями $X(t) = E_2$.

Для решения задачи о возможности обратного перехода системы (1) из области притяжения периодического аттрактора в область притяжения точечного аттрактора построим область достижимости D_{t_k} для системы в вариациях (2) и рассмотрим возможное пересечение двух областей – области притяжения точечного аттрактора системы (1) и области достижимости D_{t_k} системы (2) в окрестности периодического аттрактора системы (1).

Чтобы построить область достижимости D_{t_k} для системы (2), осуществляется переход

$$X_n(t) = X(t)S$$

от системы координат $(x_1, x_2) = (\Delta V, \Delta n)$ к системе координат (x_{1n}, x_{2n}), начало которой будет находиться на орбите периодического аттрактора и передвигаться по ней (искомая матрица S должна удовлетворять условию

$$S^{-1}X(T)S = \mathrm{diag}\left(1, e^{\frac{1}{T}\ln|\rho_2|t}\right),$$

где ρ_2 – мультипликатор Флоке).

В каждой точке $[V_i^0(t_i), n_i^0(t_i)]$ ось Ox_{1n} будет совпадать с касательной к предельному циклу (рис. 5).

Воспользуемся одной из матриц перехода к жордановой форме $S = (s^1, s^2)$, где $s^1 \approx (0{,}058; -0{,}998)^T$ и $s^2 \approx (-0{,}028;\ 0{,}999)^T$ – собственные векторы матрицы монодромии $X(T)$ (мультипликаторы Флоке $\rho_1 = 1$, $\rho_2 = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$) и перейдем к аффинной системе координат (x_{1n}, x_{2n}) с углом между осями $\phi \approx 19°$.

Согласно [2], найденная специальная фундаментальная матрица может быть представлена в виде

$$X_n = \Phi(t)\mathrm{diag}\left(1, e^{\frac{1}{T}\ln|\rho_2|t}\right),$$

где $\Phi(t)$ – действительная ограниченная T-периодическая непрерывно дифференцируемая (2×2)-матрица ($T = 35{,}25$ мс).

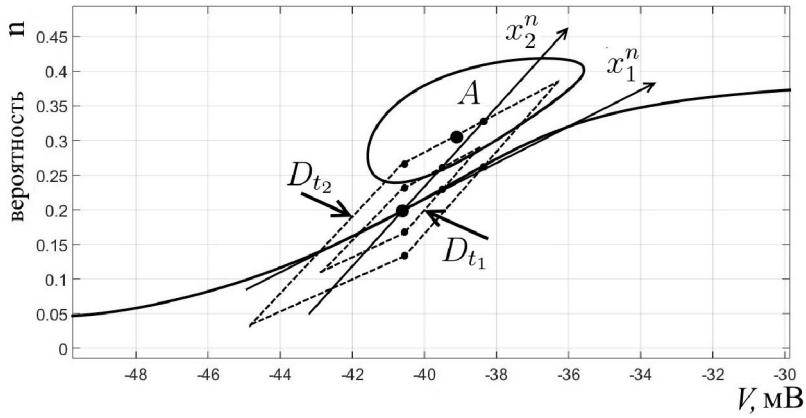


Рис. 5. Задача обратного перехода
(Fig. 5. The task of reverse transition)

Ввиду ограниченности интеграла

$$\int_0^\infty ||v_1(t)||dt < \infty$$
$$(||v_1|| \le \gamma_1\delta_1 \text{ для } t \in (0, t_1 < \infty),$$
$$v_1 \equiv 0 \text{ для } t > t_1)$$

при нулевых начальных возмущениях в соответствии с [2] вектор-функция

$$x_{jn}(t_k) = \int_0^{t_k} e_j G(t_k, s) b v_1(s) ds\,, j = 1{,}2, \quad (3)$$

где $e_1 = (1{,}0), e_2 = (0{,}1)$, является решением неоднородной системы (2) с переходной матрицей

$$G(t_k, s) = \Phi(t_k) diag\left(0, e^{\frac{1}{T}\ln|\rho_2|(t_k - s)}\right)\Phi^{-1}(s), \quad (4)$$
$$0 \le s \le t_k.$$

Из (4) следует, что для достижения максимального значения по координате x_{in} $(i = 1{,}2)$ в момент времени t_k необходимо и достаточно, чтобы возмущение $v_1(s)$ принимало экстремальное значение δ_1 или 0, совпадающее по знаку с функцией $e_j G(t_k, s) b$. Таким образом, получаем формулу, определяющую наихудшее возмущение:

$$v_{1j}^0 = \begin{cases} 0, \text{если } \left(e_j G(t_k, s) b\right) \le 0, \\ \gamma_1\delta_1, \text{если } \left(e_j G(t_k, s) b\right) > 0, \end{cases} \quad 0 \le s \le t_k.$$

На рис. 5 представлены прямоугольные неулучшаемые оценки областей достижимости D_{t_1} ($t_1 = 35{,}25$ мс) и D_{t_2} ($t_2 = 70{,}5$ мс), построенные в окрестности точки $V^0 = -40{,}55$, $n^0 = 0{,}2$, лежащей на орбите периодического аттрактора. Эти оценки представляют собой прямоугольники, ограниченные максимальными и минимальными отклонениями по координатам (x_{1n}, x_{2n}), центр которых расположен в точке (V^0, n^0). Значения $\max_{0 \le P(t) \le \delta_1} x_{jn}(t_i)$ и $\min_{0 \le P(t) \le \delta_1} x_{jn}(t_i)$ были вычислены сначала в координатах (x_{1n}, x_{2n}), затем с помощью преобразований $(x_1, x_2) = (x_{1n}, x_{2n}) \cdot S^{-1}$ и $V = x_1 + v^0$, $n = x_2 + n^0$ были переведены в координаты (V, n) нелинейной системы (1). Неулучшаемость оценок следует из нахождения концов траекторий в углах прямоугольников (рис. 5), то есть область достижимости D_{t_2} имеет непустое пересечение с областью притяжения точечного аттрактора A. Следовательно, существует возможность перехода системы (1) за время $t_2 = 70{,}5$ мс под действием возмущения v_1^0 из области притяжения периодического аттрактора (состояния генерации импульсов) в область притяжения точечного аттрактора A.

Таким образом, показана возможность обратного перехода из области притяжения периодического аттрактора в область притяжения точечного аттрактора при малой по амплитуде гальванической коррекции первичных афферентных нейронов, что соответствует результату эксперимента.

4. Обсуждение и заключение

Анализируя результат эксперимента и схему (рис. 3) связей активности вертикальных полукружных каналов с глазными мышцами, полученной из таблицы [5] законов Эвальда [6], можно предположить, что аналогичный результат по улучшению установки взора (рис. 4) получается и при размещении катода с левой

стороны головы пилота. При этом биомеханический процесс стабилизации другой – вестибулярная активность первичных афферентных нейронов вертикального левого заднего канала приводит к равновесию моментов верхней и нижней мышц правого глазного яблока.

Таким образом, необходима функциональная схема гальванического корректора, решающая на практике задачи коррекции вестибулярной активности пилота в двух режимах:

а) программной коррекции в случае пилотажно-динамического стенда [7];

б) коррекции по показателям датчиков МЭМС, установленных на кресле пилота или на шлеме космонавта в реальном полете.

Мы благодарим INAOE за доступ к динамическому стенду и работу персонала института, их поддержку в ходе эксперимента, а также студентов лаборатории нейрофизиологии BUAP, экспертов в области использования материалов и физиологических инструментов для применения GVS.

Литература

1. Александров В.В., Александрова Т.Б., Коноваленко И.С., Тихонова К.В. Возмущаемые стабильные системы на плоскости, II // Вестник Московского университета. Сер. Математика. Механика. 2017. № 1. 53–57.

2. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. 2-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 480 с.

3. Рубин А.Б. Биофизика. М., 2000. Т. II. 467 с.

4. Aleksandrov V.V., Aleksandrova T.B., Angeles Vasques A., Vega R., Reies Romero M., Soto E., Tikhonova K.V., Shulenina N.E. An output signal correction algorithm for vestibular mechanoreceptors to simulate passive turns. *Moscow University Mechanics Bulletin*, 2015, vol. 170, no. 5, pp. 130–134.

5. Baloh R.W., Honrubia V. Clinical Neurophysiology of the Vestibular System. Oxford University Press, 2001, 408 p.

6. Ewald J.R. Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus Octavus. Wiesbaden, Bergmann, 1892.

7. Moore S.T., Dilda V., MacDougall H.G. Galvanic Vestibular Stimulation as an Analogue of Spatial Disorientation After Spaceflight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 2011, vol. 82 (5), May, pp. 535–542.

References

1. Aleksandrov V.V., Aleksandrova T.B., Tikhonova K.V., Konovalenko I.S. Perturbed stable systems on a plane. Part 2. *Moscow University Mechanics Bulletin*, 2017, vol. 72, no. 1, pp. 19–22.

2. Demidovich B.P. *Lektsii po matematicheskoi teorii ustoichivosti. 2-e izd*. [Lectures on mathematical theory of sustainability. 2nd ed.]. Moscow, Moscow University Publ., 1998, 480 p. (in Russian).

3. Rubin A.B. *Biofizika* [Biophysics]. Moscow, 2000, vol. 2, 467 p. (in Russian).

4. Aleksandrov V.V., Aleksandrova T.B., Angeles Vasques A., Vega R., Reies Romero M., Soto E., Tikhonova K.V., Shulenina N.E. An output signal correction algorithm for vestibular mechanoreceptors to simulate passive turns. *Moscow University Mechanics Bulletin*, 2015, vol. 170, no. 5, pp. 130–134.

5. Baloh R.W., Honrubia V. Clinical Neurophysiology of the Vestibular System. Oxford University Press, 2001, 408 p.

6. Ewald J.R. Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus Octavus. Wiesbaden, Bergmann, 1892.

7. Moore S.T., Dilda V., MacDougall H.G. Galvanic Vestibular Stimulation as an Analogue of Spatial Disorientation After Spaceflight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 2011, vol. 82 (5), May, pp. 535–542.

Информация об авторах / Information about the authors

Садовничий Виктор Антонович
доктор физико-математических наук, профессор,
действительный член РАН, ректор,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова *(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1*)
info@rector.msu.ru

Александров Владимир Васильевич
доктор физико-математических наук, профессор,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова *(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1*)
vladimiralexandrov366@hotmail.com

Viktor A. Sadovnichii
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Full Member of RAS, Rector,
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
info@rector.msu.ru

Vladimir V. Alexandrov
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
vladimiralexandrov366@hotmail.com

Александрова Тамара Борисовна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)
tamara366@yahoo.com.mx

Коноваленко Ирина Сергеевна
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)
igritsa@i.ua

Тихонова Катерина Владимировна
научный сотрудник,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова *(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1*)
katerina.tikhonova@innopractika.ru

Росарио Вега
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)

Сото Энрике
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)
esoto24@gmail.com

Гордильо-Домингес Хорхе Луис
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)
jorge.gordillod@gmail.com

Гонзалес Октавио
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)
octavio.gp.21@gmail.com

Tamara B. Alexandrova
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
tamara366@yahoo.com.mx

Irina S. Konovalenko
Post-Graduate Student,
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
igritsa@i.ua

Katerina V. Tikhonova
Researcher,
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
katerina.tikhonova@innopractika.ru

Vega Rosario
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)

Enrique Soto
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
esoto24@gmail.com

Luis Jorge Gordillo-Dominguez
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
jorge.gordillod@gmail.com

Octavio Gonzalez
Lomonosov Moscow State University
(*1 Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia*)
octavio.gp.21@gmail.com

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

К 30-летию полета «Бурана» /
In Commemoration of the 30th Anniversary of the «Buran» Flight

УДК 629.788

К 30-ЛЕТИЮ ПОЛЁТА МНОГОРАЗОВОГО ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН»

А.С. Башилов[1], **В.А. Лопота**[2]

[1] *Российская инженерная академия, г. Москва, Россия*
[2] *Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики, г. Санкт Петербург, Россия*

Резюме: *Программа создания системы «Энергия» – «Буран» дала импульс для развития всей ракетно-космической и авиационной отрасли, особенно в таких областях, как ракетное двигателестроение, новые материалы, бортовое оборудование, автоматизированные методы проектирования, методы наземной отработки и лётных испытаний. Многоразовый крылатый орбитальный корабль (ОК) стал наиболее наукоёмкой частью проекта на стыке космической и авиационной техники. При создании ОК использовался опыт, накопленный в ходе программ «Спираль» и «Бор». Работы были начаты в 1976 году на новом аэрокосмическом предприятии – Научно-производственном объединении «Молния», на котором производилась сборка орбитальных кораблей. Была отработана технология управления этой кооперацией в рамках крупномасштабного наукоёмкого проекта, имеющего для страны стратегическое значение.*

«Буран» отличался от космического корабля Space Shuttle хвостовой частью и положением центра масс, поэтому не могло быть полного подобия и по аэродинамической компоновке. Кроме того, «Буран» изготавливался на отечественной элементной и технологической базе, что также отразилось на его конструктивных особенностях, весовых и центровочных характеристиках. Важные разделы работ – аэродинамическое и тепловое проектирование планера. Совместно с ЦАГИ разработаны специальные стенды для исследования интерференции. В отличие от программы Space Shuttle применялась полностью автоматизированная система раскроя теплозащитных плиток. Ярким достижением стала разработка системы автоматической посадки, которая была выполнена впервые в мире.

Достижения программы «Буран» по-прежнему представляют большой интерес при разработке ракетно-космических транспортных систем с возвращаемыми ракетными блоками, космических кораблей нового поколения, авиационно-космических систем, суборбитальных туристических аппаратов, гиперзвуковых аппаратов большой дальности. Необходимо обеспечить преемственность, рациональное использование имеющегося опыта. Это позволит более обоснованно принимать технические решения, сократить сроки разработки, снизить стоимость и технический риск при реализации новых проектов аэрокосмической техники.

Ключевые слова: *ракетно-космическая и авиационная отрасли, многоразовый крылатый орбитальный корабль, система автоматической посадки.*

Для цитирования: *Башилов А.С., Лопота В.А. К 30-летию полёта многоразового орбитального корабля «Буран» // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 16–20.*

IN COMMEMORATION OF THE 30th ANNIVERSARY OF THE «BURAN» REUSABLE SPACESHIP ORBITAL FLIGHT

A.S. Bashilov[1], **V.A. Lopota**[2]

[1] *Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia*
[2] *Central Research Institute of Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia*

Abstract: *The "Energia" – "Buran" Space System development program gave an impetus to the progress of the whole aerospace industry, especially in areas, such as rocket engine building, new materials, avionics, automated design, and methods of ground-based and flight testing. The reusable winged orbital spaceship (OK) became the most science-intensive part of the project, at the junction of space and aviation technology. In the development of the OK, an important role was played by the experience accumulated during the "Spiral" and "BOR" programs. The work on Buran was started in 1976 at the USSR's new aerospace enterprise – the "Molniya" Scientific and Production Corporation, where orbital spaceships were assembled. The methods and procedures for managing this cooperation were tested and fine-tuned within the framework of a large-scale knowledge-intensive project of strategic importance for the country.*

"Buran" was different from the "Space Shuttle" spacecraft in the structure of its tail section and in the position of the center of mass, which is why there could be no complete similarity between the two space vehicles in aerodynamic configuration. Besides, "Buran" was produced

on the basis of Russian elements and technologies which was also reflected in its design features, as well as weight and centering characteristics. An important part of the program work was aerodynamic and thermal design of the orbiter plane. In collaboration with the TSAGI Central Aerohydrodynamic Institute, special stands were developed for the study of interference. Unlike the "Space Shuttle" program, a fully automated system for positioning thermal protection tiles was used in the "Buran" program. A spectacular achievement was the development of an automatic landing system which was executed for the first time in the world.

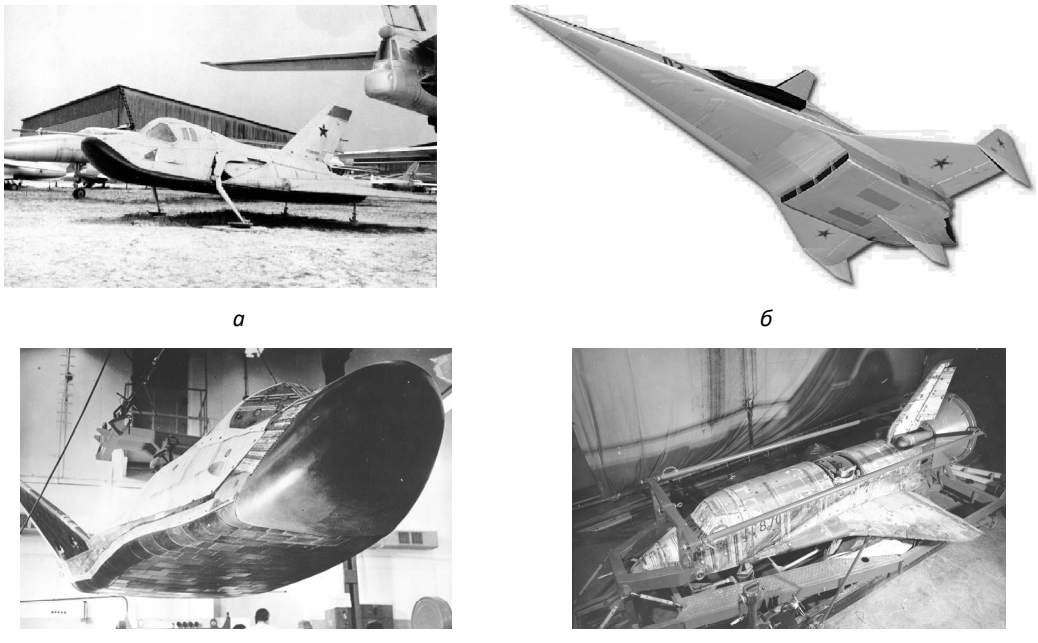
The accomplishments of the "Buran" program do not lose their significance today and may be relevant for the development of space transport systems with return rocket blocks, new generation spacecraft, aviation and space systems, suborbital tourist vehicles, and long-range hypersonic apparatuses. It is necessary to ensure continuity and the rational use of the existing experience. This will allow for better-grounded technical decisions, reduce development time, and lower the costs and the technical risks in the implementation of new projects in the field of aerospace technology.

Key words: *space and aviation industries, reusable winged orbital spacecraft, automatic landing system.*

For citations: *Bashilov A.S., Lopota V.A. In Commemoration of the 30th Anniversary of the «Buran» Reusable Spaceship Orbital Flight. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 16–20.*

Программа создания системы «Энергия» – «Буран» дала импульс для развития всей ракетно-космической и авиационной отрасли, особенно в таких областях, как ракетное двигателестроение, новые материалы, бортовое оборудование, автоматизированные методы проектирования, методы наземной отработки и лётных испытаний. Многоразовый крылатый орбитальный корабль (ОК) стал наиболее наукоёмкой частью проекта на стыке космической и авиационной техники. При создании ОК использовался опыт, накопленный в ходе программ «Спираль» и «Бор» (рис. 1).

Работы были начаты в 1976 году на новом аэрокосмическом предприятии – Научно-производственном объединении «Молния», главным конструктором и генеральным директором которого был назначен Г.Е. Лозино-Лозинский. В 2019 году будет отмечаться 110-я годовщина со дня рождения этого выдающегося конструктора (рис. 2).



а *б* *в* *г*

Рис. 1. Орбитальный самолёт (*а*) и гиперзвуковой самолёт-носитель (*б*)
авиационно-космической системы «Спираль»;
экспериментальные космические аппараты «Бор-4» (*в*) и «Бор-5» (*г*)

Fig. 1. Orbital plane and hypersonic aircraft carrier of the "Spiral" aerospace system.
The "Bor-4" and "Bor-5" experimental spacecraft

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Рис. 2. Авиаконструктор
Г.Е. Лозино-Лозинский (1909–2001)
(Fig. 2. Aircraft designer
G.E. Lozino-Lozinskiy (1909–2001))

НПО «Молния» и Тушинский машиностроительный завод (ТМЗ), на котором производилась сборка орбитальных кораблей, были на вершине большой кооперации предприятий и институтов из различных министерств и ведомств. Была отработана технология управления этой кооперацией в рамках крупномасштабного наукоёмкого проекта, имеющего для страны стратегическое значение.

В книге «Авиационно-космические системы», изданной под редакцией Г.Е. Лозино-Лозинского, отмечены наиболее важные этапы большой программы создания многоразового корабля:

- капитальное строительство стендовой базы;
- новые металлические и неметаллические материалы;
- конструкция теплозащиты;
- технологические процессы и станочное оборудование;
- эскизное проектирование;
- экспериментальные исследования аэродинамических моделей;
- посадочный комплекс;
- рабочее проектирование;
- летающие модели и летающие лаборатории;
- горизонтальные лётные испытания аналога корабля;
- опытные образцы корабля;
- алгоритмы управления;
- лабораторно-стендовая отработка агрегатов и систем;
- изготовление штатного образца ОК;
- подготовка к первому орбитальному полёту;
- воздушная транспортировка;
- первый космический полёт с автоматической посадкой и обработка результатов полёта.

«Буран» отличался от космического корабля «Space Shuttle» хвостовой частью и положением центра масс, поэтому не могло быть полного подобия и по аэродинамической компоновке (рис. 3).

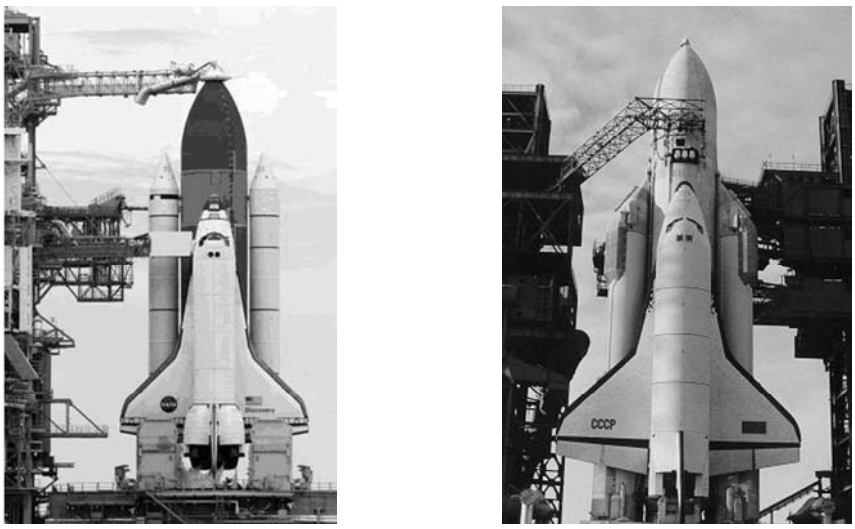


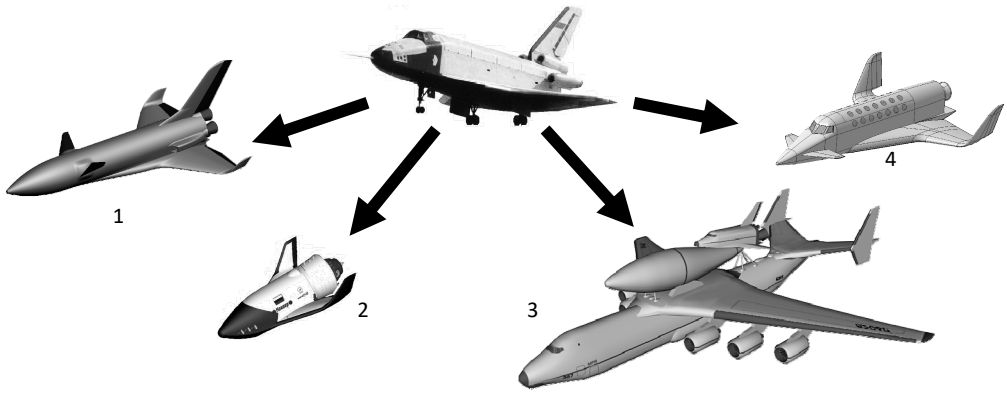
Рис. 3. Космические системы «Space Shuttle» и «Энергия» – «Буран»
(Fig. 3. The «Space Shuttle» and «Energiya – Buran» space systems)

«Буран» изготавливался на отечественной элементной и технологической базе, что также отразилось на его конструктивных особенностях, весовых и центровочных характеристиках. Важные разделы работ – аэродинамическое и тепловое проектирование планера. Совместно с ЦАГИ разработаны специальные стенды для исследования интерференции. В отличие от программы Space Shuttle применялась полностью автоматизированная система раскроя теплозащитных плиток. Ярким достижением стала разработка системы автоматической посадки, которая была выполнена впервые в мире. Большое значение имела программа горизонтальных лётных испытаний на полноразмерном аналоге (рис. 4).

Достижения программы «Буран» это не только история. Они представляют большой интерес и для будущего, могут использоваться как база знаний при разработке ракетно-космических транспортных систем с возвращаемыми ракетными блоками, космических кораблей нового поколения, авиационно-космических систем, суборбитальных туристических аппаратов, гиперзвуковых аппаратов большой дальности (рис. 5).

Рис. 4. Полноразмерный аналог корабля «Буран», выполнивший программу горизонтальных лётных испытаний при отработке автоматической посадки

(Fig. 4. A full-size analogue of the «Buran» spaceship after executing a horizontal flight testing program for the refinement of automatic landing)



1 – Крылатые ускорители перспективных ракет-носителей (Winged boosters of prospective carrier rockets)

2 – Космические корабли нового поколения (New generation spaceships)

3 – Системы выведения авиационного базирования (Air-based launch systems)

4 – Суборбитальные транспортные системы (космический туризм) (Suborbital transportation systems (space tourism))

Рис. 5. Возможные направления использования научно-технических результатов программы «Буран»

(Fig 5. Possible application areas of the scientific and technological results of the «Buran» program)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Для успеха новых аэрокосмических проектов необходимо обеспечить преемственность, рациональное использование имеющегося опыта. Это позволит более обоснованно принимать технические решения, сократит сроки, снизит стоимость и технический риск разработки новой многоразовой космической техники.

Литература

1. Авиационно-космические системы / под ред. Г.Е. Лозино-Лозинского. М.: Машиностроение, 1980. 450 с.

2. Ковалев И.Е., Бузулук В.И., Плохих В.П., Лехов П.А., Горбатенко В.В. Семейство сверхтяжелых систем выведения на базе многоразового ракетного блока типа "Байкал" // Авиакосмическая техника и технология. 2014. № 1. С. 9–15.

References

1. Lozino-Lozinskii G.E., ed. *Aviatsionno-kosmicheskie sistemy* [Aviation and Space Systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980, 450 p. (in Russian).

2. Kovalev I.E., Buzuluk V.I., Plokhikh V.P., Lekhov P.A., Gorbatenko V.V. Family-based inference systems heavy reusable rocket block type "Baykal". *Aviakosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2014, no. 1, pp. 9–15 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Башилов Александр Сергеевич
кандидат технических наук,
Российская инженерная академия
(*125009, г. Москва, Газетный переулок, д. 9, стр. 4*)
info-rae@mail.ru

Лопота Виталий Александрович
доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
Центральный научно-исследовательский
и опытно-конструкторский институт робототехники
и технической кибернетики
(*194064, г. Санкт Петербург, Тихорецкий пр., 21*)
rtc@rtc.ru

Aleksandr S. Bashilov
Candidate of Technical Sciences,
Russian Academy of Engineering
(*bldg. 4, 9 Gazetny lane, Moscow, 125009 Russia*)
info-rae@mail.ru

Vitaliy A. Lopota
Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAS,
Central Research Institute of Robotics and Technical Cybernetics
(*21 Tikhoretsky prospekt, St. Petersburg, 194064 Russia*)
rtc@rtc.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 629.788

ИСТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН»

А.С. Бородай

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина», г. Звездный, Россия

Резюме: *В статье подробно рассказано о том, как проходили набор и подготовка экипажей для орбитального корабля «Буран», а также о горизонтально-летных испытаниях аналога «Бурана». Показаны отличия многоразовой космической системы «Энергия – Буран» от аналогичной системы, разрабатываемой в США под названием «Спейс – Шаттл». В создании многоразовой космической системы участвовала вся страна, десятки министерств и ведомств и тысячи предприятий. Головным министерством было Министерство общего машиностроения в лице НПО «Энергия», а создавало «Буран» НПО «Молния» Министерства авиационной промышленности (генеральный конструктор Глеб Евгеньевич Лозино-Лозинский). Было создано несколько аналогов «Бурана», один из которых предназначался для отработки автоматической посадки, так как было принято решение о посадке «Бурана» после возвращения из космоса в автоматическом режиме как основного способа посадки. В то же самое время предусматривался и резервный способ – система СУРА (система управления ручная аварийная). В случае отказа автоматики лётчики могли отключить автоматику и перейти на ручной способ управления на любом этапе полёта. Одна из основных задач при реализации проекта была связана с созданием компьютерной программы автоматической посадки и внесением ее в бортовой вычислительный комплекс «Бурана». В этой связи одной из основных задач для лётчиков-испытателей была отработка методики посадки по так называемой «барановской» траектории на тренажере, затем на самолётах-лабораториях и, наконец, автоматической посадки на аналоге. Основным самолётом-лабораторией стал ТУ-154лл с включенным реверсом тяги в полёте, так как он очень близок по своему аэродинамическому качеству к реальному «Бурану». Анализ ручных заходов на посадку на самолётах ТУ-154лл позволил получить исходные данные для составления программы автоматического захода на посадку как на ТУ-154, так и на аналоге «Бурана», а в конечном итоге и на орбитальном корабле «Буран». Для проведения горизонтально-летных испытаний были изготовлены два экземпляра большого транспортного самолете – аналога «Буран» для проведения статических (то есть на слом) и летных испытаний. Для проведения летных испытаний были решены следующие задач:*

- отработана методика бездвигательного захода на посадку и посадки на взлетно-посадочную полосу;

- натренированы летчики на самолётах-лабораториях в выполнении заходов и посадок с разных точек воздушного пространства, с разных направлений и удалений от ВПП при минимуме информации о дальности и высоте полета, постоянно считающие в уме и прогнозирующие точку посадки;

- испытан бортовой комплекс управления и подобраны нужные передаточные отношения от ручки управления до рулевых поверхностей;

- испытаны наземный и бортовой посадочные комплексы, которые принципиально отличались от ранее применяемых в авиации и космонавтике;

- опробованы автоматические посадки сначала на ТУ-154, потом на аналоге «Бурана» – большом транспортном самолете.

Параллельно с полетами на самолетах летчики-испытатели проходили подготовку на пилотажно-динамическом стенде (ПДСТ), на котором также отрабатывались методики захода и посадки по траектории «Бурана», новые системы визуализации и, самое главное, действия летчиков в нештатных ситуациях.

В статье приведены материалы по формированию экипажей и краткие биографии членов экипажей.

Ключевые слова: *пилотируемый корабль «Буран», автоматический режим посадки, летчик-испытатель, пилотажно-динамический стенд, орбита.*

Для цитирования: *Бородай А.С. История испытаний орбитального корабля «Буран» // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 21–28.*

«BURAN» ORBITAL SPACECRAFT TEST HISTORY

A.S. Boroday

State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center», Zviozdny Gorodok (Star City), Russia

Abstract*: The article presents the memoirs of the test pilot A.S. Boroday who was a member of the cosmonaut training crew for the «Buran» manned spacecraft. The author reminisces about how crews were selected and trained for «Buran» and describes horizontal flight tests (GLI) of the «Buran» analogue. He shows the differences between the multiple-use «Energia-Buran» space system (MKS) and the analogous system which was developed in the United States under the name of a «Space Shuttle». The development of MKS was a product of cooperation of dozens of ministries and thousands of enterprises, in fact, – a product of the work of the whole country. The top managing agency of the «Buran» program was the Ministry of General Machine-Building (MGM), the prime contractor – the «Energia» Research*

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

and Production Corporation (NPO Energia), while the actual design and building were carried out by the «Molnya» Design Bureau of the Ministry of Aviation Industry (MAP), with Gleb E. Lozino-Lozinsky as Chief Designer. Several analogues of «Buran» were created, one of which was designated for test work on automatic landing following a decision that automatic landing from space was to be «Buran's» primary landing method. At the same time, there was a back-up – SURA, a manual emergency control system. In case automatics failed, pilots could turn off automatics and switch to the manual controls at any stage of the flight.

One of the main tasks in the implementation of the project was the development of a computer automatic landing program and its integration in «Buran's» on-board computation complex. In that regard, one of the main tasks for the test pilots was the testing of landing methods in the so-called «Buran» trajectory first on a trainer and then on flying lab planes, with the final fine tuning of automatic precision landing on an analogue. The main flying laboratory was the modified TU-154 plane with in-flight reverse thrust, which is very close to the flight «Buran» in its aerodynamic quality. The analysis of manual approach on TU-154 planes provided initial data for the development of an automatic approach program both on TU-154 and on the «Buran» analogue, and, finally, – on the «Buran» orbital spaceship. The need to perform horizontal and flight tests (GLI) brought about the construction of two vehicles modeled on the Big Transport Aircraft (BTS), a «Buran» analogue. The vehicles were designed for static (to be expended) and flight tests. In preparation for the flight testing, the project team accomplished the following tasks:

methods of no-engine approach and landing on the landing strip were tested;

pilots were trained on flying laboratories in performing approach and landing from different points in air space and from different directions and varying distances from the landing strip, with minimum information on the flight range and altitude, while doing non-stop math in their minds and making predictions with respect to the landing point;

the on-board control complex was tested, and necessary transmission connections between the control lever and the steering surfaces were selected;

ground and on-board landing complexes, principally different from those previously used in aviation and space activities, were tested;

automatic landings were tested first on TU-154, and then on the «Buran» analogue, the Big Transport Aircraft.

Along with aircraft flights, the test pilots were also trained on the dynamic piloting test stand (PDS), which further facilitated the refinement of methods of approach and landing in «Buran's» trajectory, the new visualization systems, and, most importantly, pilots' actions in flight emergency situations.

The article presents materials on the formation of the crews and short biographies of the crew members.

Key words: *«Buran» manned spaceship, automatic landing regime, test pilot, piloting and dynamic stand, orbit.*

For citations: *Boroday A.S. «Buran» Orbital Spacecraft Test History. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 21–28.*

В 1976 году вышло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о начале работ по созданию многоразовой космической системы (МКС) «Энергия – Буран». В США к этому времени уже полным ходом шло создание аналогичной системы под названием «Спейс – Шаттл». Отличия нашей системы от американской заключались в способах доставки космического самолета на орбиту Земли. Мы свой «Буран» планировали доставлять мощной ракетой-носителем «Энергия», а американцы – с помощью ракетных двигателей, установленных на самом космическом самолете, а самолет крепился к баку с ракетным топливом. В качестве первой ступени у нас были четыре блока на жидком топливе, а у них – два блока на твердом топливе. В итоге, как было запланировано, так и было сделано. В каждом способе вывода есть свои достоинства и свои недостатки. Мы их здесь рассматривать не будем. Но я думаю, что компоновка нашей МКС и, соответственно, способ доставки корабля на орбиту имеет больше недостатков, чем достоинств. Ровно через 20 лет после полета Ю.А, Гагарина, 12 апреля 1981 года, американцы запустили в космос свой «Шаттл» с экипажем на борту, а 15 ноября 1988 года мы запустили свой «Буран» без экипажа, который совершил посадку после возвращения из космоса в автоматическом режиме. Здесь также можно говорить о плюсах и минусах той технической идеологии, которую избрали наши ученые и конструкторы. Но это тема другого разговора. А в этой статье мне, как непосредственному участнику тех событий, хотелось бы вспомнить о том, как проходили набор и подготовка экипажей на Буран», а также о горизонтальнолетных испытаниях (ГЛИ) аналога «Бурана».

Без преувеличения можно сказать, что в создании МКС участвовала вся страна, по крайней мере, десятки министерств и ведомств и тысячи предприятий. Но головным министерством было Министерство общего машиностроения (МОМ) в лице НПО «Энергия», а создавало «Буран» НПО «Молния» Министерства авиационной промышленности (МАП) (Генеральный конструктор Глеб Евгеньевич Лозино-Лозинский). При спуске с орбиты на $H > 20$ км для управления «Бураном» использовались как аэродинамические, так и газовые рули

специальных управляющих двигателей. А на высоте меньше 20 км использовались только аэродинамические рули. Аэродинамическая компоновка была выполнена по самолетной схеме. Значит, его тоже нужно испытать в атмосфере как самолет. Параметры его полета по траектории спуска (на H < 20 км):

- угол наклона траектории – 19° (при стандартных метеоусловиях);
- $V_{пр}$ = 520 км/ч (диапазон скорости $V_{пр.\,макс}$ = 600 км/ч, $V_{пр.\,мин}$ = 400 км/ч);
- $V_{у} \approx 50 \div 60$ м/с до H выравнивания;
- $H_{выравн}$ = 350 м;
- аэродинамическое качество – 4.

Аналог «Бурана» большой транспортный самолет БТС-002 предназначался для отработки автоматической посадки. Дело в том, что сам «Буран» из космоса должен садиться в автоматическом режиме. В 1976 году была проанализирована статистика лётных происшествий: примерно 20% лётных происшествий произошло из-за отказа авиатехники и примерно 80% – по причине человеческого фактора: ошибка экипажа, некачественная подготовка авиатехники к полёту, ошибки в руководстве полётами и т.д. Поэтому было принято решение о посадке «Бурана» из космоса в автоматическом режиме как основного способа посадки. В то же самое время предусматривался и резервный способ – система СУРА (система управления ручная аварийная). В случае отказа автоматики лётчики могли отключить автоматику и перейти на ручной способ управления на любом этапе полёта. Остался «пустяк» – создать программу автоматической посадки и ввести её в бортовой вычислительный комплекс «Бурана». Но где брать исходные данные для программы? В стране никто не летал по такой траектории ни в ручном, ни в автоматическом режимах. Вот это и стало одной из основных задач для лётчиков-испытателей, то есть отработать методику посадки по «бурановской» траектории на тренажере ПДСТ, затем на самолётах-лабораториях и, наконец, отработать автоматическую посадку на аналоге БТС-002. Основным самолётом-лабораторией стал ТУ-154лл с включенным реверсом тяги в полёте. Он очень близок по своему аэродинамическому качеству к реальному «Бурану», а зимой при температурах – 15°-20° – качество было ниже, чем у «Бурана» (приблизительно 3/3,5 единицы). Но это лётчикам было только на пользу. Анализ ручных заходов на посадку на самолётах ТУ-154лл позволил получить исходные данные для составления программы автоматического захода на посадку как на ТУ-154лл, так и на аналог «Бурана» – БТС-002, а в конечном итоге и на орбитальном корабле (ОК) «Буран».

Для проведения ГЛИ изготовили аналог «Бурана», на который установили четыре авиационных двигателя: два форсажных и два бесфорсажных. Стал он называться БТС-002 – большой транспортный самолет, второй экземпляр. Первый экземпляр, как и принято, в авиации, был изготовлен для статических испытаний (т.е. на слом). А до того как начать испытания БТС-002, нужно было решить несколько задач:

- отработать методику бездвигательного захода на посадку и посадки на ПДСТ;
- натренировать летчиков на самолётах-лабораториях в выполнении заходов и посадок с разных точек воздушного пространства, разных направлений и удалений от взлетно-посадочной полосы (ВПП). И все это нужно делать при минимуме информации (то есть по АРК, дальности и высоте полета), постоянно считая в уме и прогнозируя точку посадки;
- испытать бортовой комплекс управления и подобрать нужные передаточные отношения от ручки управления до рулевых поверхностей;
- испытать наземный («Вымпел») и бортовой посадочные комплексы, которые принципиально отличались от ранее применяемых в авиации и космонавтике;
- опробовать автоматическую посадку сначала на ТУ-154лл, потом на аналоге «Бурана» БТС-002.

Для решения этих задач нужны были самолеты-лаборатории, близкие к «Бурану» по своему аэродинамическому качеству. Было опробовано несколько типов, но в конечном итоге остановились на МИГ-25 и ТУ-154лл. На МИГ-25 отрабатывались заходы и посадки с H = 20 км (РУД на МГ, тормозные щитки выпу-

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

щены). При переходе на дозвуковую скорость (≈ 14 км) выпускали шасси, закрылки. А на ТУ-154лл отрабатывались заходы и посадки с H = 10 км (РУДы МГ, реверс включен). Наиболее близок по своим характеристикам Ту-154лл с включенным реверсом. А при отрицательных температурах аэродинамическое качество ТУ-154лл было хуже, чем у «Бурана», и при $t \leq -15^{\circ}$ С качество составляло 3 единицы. Каждым летчиком было выполнено десятки посадок, а перед каждой посадкой выполнялось еще по 2-3 прохода над ВПП на H = 2-5 м.

Параллельно с полетами на самолетах мы проходили подготовку на пилотажно-динамическом стенде (ПДСТ). На нем также отрабатывались методики захода и посадки по траектории «Бурана», новые системы визуализации и, самое главное, действия летчиков в нештатных ситуациях. Все действия с оборудованием в кабине в основном выполнялись с правого кресла. А задача командира – удерживать самолет на траектории спуска. Мы себе усложняли задачу, пытаясь и пилотировать самолет с правого кресла и работать с оборудованием кабины. И даже «сажали» тренажер с завязанными глазами, пользуясь только информацией о высоте. До начала ГЛИ у каждого из нас было по нескольку сот часов налета на ПДСТ. И, забегая вперед, хочу сказать, что, вылетая первый раз на БТС-002, ощущение было такое, как будто бы я уже давно летаю на нем.

К сожалению, развитию тренажеров у нас в России уделяется мало внимания. В то время как в развитых авиационных державах на тренажерах осуществляется даже проверка техники пилотирования.

На ТУ-154лл место второго пилота (правое кресло) было переоборудовано под «бурановское» управление. Там стояла ручка управления вместо штурвала, а также весь контур управления был с «Бурана». То есть самолет-лаборатория имел два независимых управления: на левом кресле – штатное самолетное, а на правом – «бурановское». Управлять самолетом можно только с одного из них. Кроме того, на самолете был выполнен ряд конструктивных доработок:

- увеличено время работы реверса до 5 минут (этого как раз хватало для посадки с H = 10 км);
- увеличена прочность шасси, что позволило довести скорость посадки до 360 км/ч;
- были проведены мероприятия по исключению трещин хвостового оперения, так как они возникали из-за длительной работы реверса в полете и т.д.

Заказчиком МКС было Министерство обороны СССР. Какая-то «умная голова» решила, что горизонтальные летные испытания «Бурана» проведут летчики-испытатели, а в космос полетят космонавты, подготовленные до уровня летчика-испытателя 2-го класса. Такое было требование к пилотам «Бурана». Это решение, как минимум, по двум причинам было ошибочное.

Во-первых, летчик, знакомясь с машиной с самого начала ее создания, делая на ней несколько полетов в привычных для него условиях, а потом летит в космос на этом самолете, где совершенно другие условия, будет подготовлен намного лучше в профессиональном и психологическом отношении, чем тот, который получил диплом летчика-испытателя, находился на должности в отряде космонавтов и искусственно, быстрыми темпами был подготовлен до уровня 2-го класса.

Во-вторых, чтобы стать полноценным летчиком-испытателем, нужно долгие годы находиться в профессиональном коллективе. Только среди профессионалов можно узнать все тонкости испытательной работы, углубить технические знания, приобрести нужные навыки.

Говорю это не понаслышке, а опираясь на собственный опыт, так как попал в «Бурановскую» группу всего через 1,5 года после окончания ЦПЛИ. Помню, как не хватало ни знаний, ни опыта в первые годы при обсуждении некоторых вопросов. Но меня выручило то, что был запас времени до начала непосредственной работы по «Бурановской» тематике и, конечно, интенсивная испытательная работа по авиационной тематике в своем коллективе.

В 1976 году в нашу группу слушателей Центра подготовки летчиков-испытателей (г. Ахтубинск) вливаются 9 кандидатов в космонавты. Все они летчики из истребительной авиации. Им 24-29 лет. Это спецнабор для будущего «Бурана». Их задача – приобрести знания,

освоить 3-4 типа самолетов и получить диплом летчика-испытателя 3-го класса, а затем методом сборов, принимая участие в летных испытаниях, повышать свою классную квалификацию, приобретать опыт и ждать готовности «Бурана» для полета в космос.

Но жизнь внесла коррективы. Сразу после выпуска В. Титов и В. Васютин были включены в программу «Союз» и в дальнейшем занимались космической деятельностью. В. Титов совершил четыре космических полета и пережил один неудачный старт (пожар на ракете-носителе и срабатывание системы аварийного спасения). В. Васютин выполнил один космический полет, но по состоянию здоровья был отчислен из отряда космонавтов. Умер он в 2002 году, находясь на должности заместителя начальника академии ВВС имени Ю.А. Гагарина в звании генерал-лейтенанта авиации. С. Протченко отчислен из отряда космонавтов по решению Главной медицинской комиссии. Л. Иванов погиб при выполнении испытательного полета на МИГ-27 в октябре 1980 года.

Остальные пять человек: А.А. Волков, Л.К. Каденюк, А.Я. Соловьев, Е.В. Салей, и Н.Т. Москаленко в июне 1981 года стали летчиками-испытателями 2-го класса. Вскоре их участие в программе «Буран» было завершено. Они были переориентированы на подготовку к полетам на орбитальные станции и КК «Союз». А.Я. Соловьев выполнил пять космических полетов, А.А. Волков – три космических полета. Л.К. Каденюк за развод с женой был отчислен из отряда космонавтов, короткое время служил в Липецком Центре боевого применения, затем служил летчиком-испытателем в ГК НИИ ВВС (г. Ахтубинск). Стал летчиком-испытателем 1-го класса. С 1988 по 1996 год стоял на должности космонавта-испытателя по программе «Буран» в группе космонавтов ГК НИИ ВВС (Чкаловский филиал). Но фактического участия в этой программе не принимал. В 1996 году принял гражданство Украины, слетал в космос на американском «Шаттле» в качестве специалиста по полезной нагрузке и стал космонавтом № 1 Украины.

Е.В. Салей и Н.Т. Москаленко выбыли из отряда космонавтов «в связи с ужесточением медицинских требований к космонавтам».

Для проведения ГЛИ в 1978 году были созданы две группы летчиков-испытателей: одна группа от ЛИИ МАП и вторая группа – от НИИ ВВС. В группу от ЛИИ МАП вошли: И. Волк, О. Кононенко, А. Левченко, Р. Станкявичюс, А. Щукин. В группу НИИ ВВС вошли И. Бачурин, В. Чиркин, Н. Саттаров, В. Мосолов, А. Соковых, А. Бородай.

Обе группы в 1979 году приступили к общекосмической подготовке (ОКП) в Звездном городке. Наверное, стало приходить понимание у начальников, что в космос на «Буране» должны лететь те летчики, которые проведут испытания в атмосфере. Хотя в то же самое время вышеназванная группа космонавтов продолжали совершенствоваться как летчики-испытатели.

ОКП нашей единой группы проходила методом сборов. Так как основная наша работа на тот период времени заключалась в испытании авиатехники на своих базах (Жуковский, Ахтубинск), на ОКП было выделено время в межсезонье (ноябрь-декабрь, и март-апрель). В эти месяцы нам читали лекции по общекосмической подготовке и устройству космического корабля «Союз», так как материала по устройству орбитального корабля «Буран» еще не было. Кстати, наше первое знакомство с многоразовой космической системой начиналось с популярной, несекретной американской книги «Спейс Шаттл», переведенной на русский язык. В конце 1980 года мы закончили ОКП. 12 февраля 1982 года всем была присвоена квалификация космонавт-испытатель, кроме О. Кононенко и Н. Саттарова. О. Кононенко погиб в сентябре 1980 г. при отработке методики укороченного взлета с палубы ПКР «Минск» на самолете ЯК-38. Н. Сатаров отчислен из группы из-за нарушения инструкции по технике пилотирования самолета ТУ-134.

Должен сказать, что изучение теории методом сборов себя полностью оправдало. Мы и знания получали, и навыки в летной работе не теряли. В дальнейшем изучали «Буран» также методом сборов как в ЦПК, так и на фирме «Молния».

После ОКП нас заставили пройти медкомиссию по тем же требованиям, как и к кандидатам в космонавты. На удивление, прошли все.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Объясняется это, я думаю, тем, что полеты в космос на «Буране» планировались короткие, поэтому и требования к нам были помягче.

К этому времени произошли изменения в группах ЛИИ МАП и НИИ ВВС. В 1981 году приказом министра авиационной промышленности был создан отряд космонавтов-испытателей, в который вошли все те же летчики: И. Волк, Р. Станкявичюс, А. Левченко, А. Щукин. Группу космонавтов-испытателей ЛИИ пополнили: в 1983 году У. Султанов и М. Толбоев, в 1984 году – В. Заболоцкий, в 1985 году – С. Тресвятский и Ю. Шеффер, в 1989 году – Ю. Приходько. Они, так же как их предшественники, проходили ОКП. В дальнейшем эти летчики принимали активное участие в испытательных полетах на самолетах-лабораториях.

Ближе к середине 1980-х годов активно стали практиковаться совместные полеты испытателей ЛИИ МАП и НИИ ВВС на самолетах-лабораториях. В совместные экипажи в основном входила первая четверка летчиков ЛИИ и от ВВС – И. Бачурин, А. Бородай, В. Мосолов, А. Соковых. Летом 1988 года на самолете ТУ-154лл экипаж в составе Р. Станкявичюса (штатное левое кресло) – А. Бородая («бурановское» кресло) на «Байконуре» выполняли облет наземной посадочной системы. А 15 ноября того же года на эту ВПП совершил историческую посадку КК «Буран» в автоматическом режиме.

В 1987 году в ГК НИИ ВВС (4 НИУ Чкаловского филиала) приказом министра обороны СССР была создана группа космонавтов-испытателей, в которую вошли И. Бачурин и А. Бородай. Остальные летчики выбыли из программы «Буран» по различным причинам. Кроме изменения названия должности, суть работы не изменилась. Продолжали испытания самолетов, летали на самолетах-лабораториях и готовились к ГЛИ. Хотя суть работы и не поменялась, исходя из направления деятельности Чкаловского филиала, пришлось осваивать военно-транспортную авиацию, включая «Руслан» и «Мрию» (Ан-225). До этого моя летная жизнь в основном была связана с истребительной и истребительно-бомбардировочной авиацией. Но, летая на самолетах ВТА, мы не упускали возможности полетать на истребителях. Это разнообразие не только типов, но и класса самолетов придавало уверенность в себе и позволяло держать себя в летной форме.

Летчики-испытатели ГК НИИ ВВС В. Афанасьев, Г. Манаков, А. Арцебарский в мае 1987 года закончили общекосмическую подготовку в ЦПК, получили квалификацию космонавтов-испытателей. Они должны были пополнить «Бурановскую» группу космонавтов-испытателей. В это время в отряде космонавтов ЦПК им. Ю.А. Гагарина не хватало командиров экипажей. В то же время реализация программы «Буран» затягивалась. И. Бачурину, А. Бородай и В. Мосолову было предложено начать подготовку к полетам на КК «Союз». Но руководство Чкаловского филиала НИИ ВВС было категорически против этого, так как уже шли атмосферные испытания «Бурана», и, кроме этих летчиков, от Министерства обороны некому в них было участвовать. Тогда в отряд космонавтов ЦПК были зачислены А. Арцебарский, В. Афанасьев и Г. Манаков. Все они вскоре слетали в космос. В. Афанасьев выполнил четыре полета, Г. Манаков – два полета и А. Арцебарский – один полет.

Итак, в 1985 году мы подошли к испытаниям аналога «Бурана» БТС-002 в атмосфере. Если до этого на летающих лабораториях проводили испытания поэлементно, поэтапно и на разных самолетах, то теперь предстояло проверить все в комплексе. Но главная задача – отработка автоматической посадки, так как это должен был быть основной способ захода и посадки «Бурана». Американцы выполняли и выполняют сейчас посадки на «Шаттле» вручную. На мой взгляд, автоматические заход и посадка с возможностью перехода на ручное управление на любом этапе полета – это более перспективное направление.

Руководителем летных испытаний был назначен С.А. Микоян, выпускник Качинского училища 1941 года выпуска, Герой Советского Союза, заслуженный летчик-испытатель СССР. Более достойной кандидатуры на эту значимую и ответственную должность трудно было найти. Его глубокие инженерные знания, уникальный опыт летно-испытательной и руководящей работы в ГК НИИ ВВС, а также умение принимать самостоятельные решения,

способствовали успешному проведению ГЛИ аналога «Бурана».

Было сформировано три экипажа: два от МАП (И. Волк – Р. Станкявичюс, А. Левченко – А. Щукин) и один от МО (И. Бачурин – А. Бородай). Каждый из нас выполнял полеты в качестве командира и в качестве второго летчика. Первый полет был выполнен 10 ноября 1985 года экипажем И. Волк – Р. Станкявичюс.

Всего было выполнено 24 полета (18 – экипажами МАП; 6 – экипажем ВВС). В апреле 1988 года ГЛИ были завершены. Принципиальных недостатков в этих полетах выявлено не было. С точки зрения техники пилотирования проблем не возникало. Но давил груз ответственности. То, что концепция испытаний (самолеты-лаборатории – аналог «Бурана» – космический корабль «Буран») была выбрана правильно, подтвердила идеальная посадка «Бурана» в автоматическом режиме. И, конечно, большая роль в подготовке экипажей принадлежит ПДСТ.

Несмотря на успешный полет «Бурана» в космос, интерес к этой программе стал затихать. Складывалось впечатление, что мы хотели доказать миру, что и мы «могем». Да, мы доказали, и аргумент был убедителен. Но то был успех еще той, старой системы. Социализм ушел, громко хлопнув дверью. Неплохо было бы сотворить что-либо подобное в современной России, чтобы народ окончательно поверил во власть и собственные силы.

Мы еще продолжали по инерции летать на самолетах-лабораториях, но было уже очевидно, что перспективы у этой программы нет. Тем не менее в 1990–1991 годах мы с И. Бачуриным прошли подготовку в качестве командиров экипажа на космическом корабле «Союз». Планировалась стыковка «Союза» и «Бурана» в космосе. Мы должны были испытать новый стыковочный узел и поработать на борту «Бурана». Но и эта программа была закрыта. В 1992 году после распада СССР и обострившегося экономического кризиса в МАП программа «Буран» была приостановлена из-за бесперспективности.

Тем не менее в этом же году была пополнена группа космонавтов НИИИ ВВС. На должности космонавтов-испытателей были зачислены А. Пучков и А. Яблонцев.

В конце 1992 года из Вооруженных Сил РФ по возрасту был уволен И. Бачурин – командир группы космонавтов-испытателей НИИ ВВС. На эту должность был назначен я.

В 1993 году в группу был зачислен В. Токарев, а затем в 1995 году Н. Пушенко. Все вышеперечисленные летчики-испытатели еще в 1989–1991 годах прошли ОКП в Звездном городке. В начале 1994 года я уволился из Вооруженных Сил и стал работать в Шереметьево в компании «Аэрофлот – Международные авиалинии» в качестве командира воздушного судна Ан-124-100. К этому времени программа «Буран» уже была закрыта. Космонавты группы занимались испытаниями в НИИ ВВС и к космической деятельности не привлекались. 30 сентября 1996 года директивой Главного Штаба ВВС группа космонавтов НИИ ВВС была расформирована. Космонавты-испытатели были уволены из Вооруженных Сил в связи с сокращением штатов, кроме В. Токарева. Ему удалось добиться зачисления в отряд космонавтов ЦПК имени Ю.А. Гагарина. В 1999 году на американском «Шаттле» он слетал на МКС в качестве специалиста, где пробыл 9 дней. В 2005–2006 годах он слетал на МКС в качестве командира экипажа, где пробыл более полугода.

Не лучшим образом обстояли дела в ЛИИ МАП. Полеты по программе «Буран» практически не выполнялись с 1992 года. В начале 2000-х годов отряд космонавтов-испытателей официально был расформирован. Не знаю, чем это объяснить, но почти всех летчиков-испытателей из первого набора преследовал какой-то злой рок. О гибели О. Кононенко я уже упоминал. После полета в космос вскоре (6 августа 1988 года) умер А. Левченко от опухоли мозга. 18 августа 1988 года во время тренировочного полета погиб А. Щукин. 9 сентября 1990 года во время показательных полетов в Италии погиб Р. Станкявичюс. В автомобильной аварии переломался И. Волк. Долгие месяцы лечился в госпитале. 8 октября 1996 года произошла катастрофа нашего самолета АН-124-100 «Руслан» при выполнении посадки в Италии. Погибли два члена экипажа и два итальянца на своей ферме. Я потерял обе ноги. Основная причина – конструктивный недостаток в управлении реверсом двигателей и, как следствие, ошибка правого пилота, который управлял реверсом.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Вот такая история «Бурана» вкратце. Конкретного виновника во всем этом назвать невозможно. Параллельно с созданием «Бурана» в стране шли политические процессы. Начинали создавать «Буран» в одной стране, а закончили уже в другой. И это не могло не сказаться на результатах работы. Немного утешает то обстоятельство, что те наработки и опыт создания «Бурана» будут востребованы в будущем. А будущее – за многоразовыми космическими системами, но уже на более современном уровне развития.

Литература

1. Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А. Пилотируемые полеты: от Ю.А. Гагарина к МКС и полетам в дальний космос // Пилотируемые полеты в космос. 2011. № 2(2). С. 6–20.

2. Крикалёв С.К., Курицын А.А., Сохин И.Г. Перспективы и проблемы пилотируемой космонавтики в XXI веке // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 2011. № 1(32), т. 16. С. 1–7.

3. Крючков Б.И., Курицын А.А., Самарин В.В., Сиволап В.А. О Юрии Гагарине. Воспоминания и документы: сб. материалов / под ред. Ю.В. Лончакова. 2-е изд., перераб. и доп. Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2016.

4. Лончаков Ю.В., Крючков Б.И., Сохин И.Г. Эволюция научно-методической базы подготовки экипажей ПКА // Полеты в космос. История, люди, техника: материалы Первой науч.-практ. конф. Звездный городок; М., 2014.

References

1. Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A. Manned spaceflight: from Yu.A. Gagarin to the ISS and deep-space missions. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2011, no. 2(2), pp. 6–20 (in Russian).

2. Krikalev S.K., Kuritsyn A.A., Sokhin I.G. Prospects and challenges of manned space exploration in the 21st century. *Aktual'nye problemy aviatsionnykh i aerokosmicheskikh system*, 2011, no. 1(32), vol. 16, pp. 1–7 (in Russian).

3. Lonchakov Yu.V., ed., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A., Samarin V.V., Sivolap V.A. *O Yurii Gagarine. Vospominaniya i dokumenty: sb. Materialov. 2-e izd., pererab. i dop.* [About Yuri Gagarin. Memoirs and documents: collection of materials. 2nd ed.]ю Zvezdnyi gorodok, Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, 2016 (in Russian).

4. Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I., Sokhin I.G. *Evolyutsiya nauchno-metodicheskoi bazy podgotovki ekipazhei PKA* [Evolution of the scientific-methodical base of training of crews of manned spacecraft]. In: *Polety v kosmos. Istoriya, lyudi, tekhnika: materialy Pervoi nauch.-prakt. konf*. [Proc. of 1st Sci. Pract. Conf. « Flight into space. History, people, technology»] Zvezdnyi gorodok, Moscow, 2014 (in Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Бородай Алексей Сергеевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
info@g_ctc.ru

Aleksey S. Boroday
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
info@g_ctc.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Программы исследования Луны / Moon Exploration Programs

УДК 629.7(09)

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ЛУНОХОДОМ (К 50-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ЭКИПАЖА ЛУНОХОДА)

В.Г. Довгань

Российская инженерная академия, Москва, Россия

Резюме: *Одним из ведущих направлений в истории непилотируемой космонавтики является исследование поверхности Луны с помощью луноходов. Личное участие автора статьи в этом проекте позволило проанализировать процесс создания первого внеземного транспортного средства и радиотехнического комплекса для его испытаний. Это также предоставило возможность определить критерии формирования наземного экипажа и его обучения, сформулировать требования, предъявляемые к тренировкам специалистов. Идея создания такого космического аппарата принадлежит Главному конструктору С.П. Королёву. Она родилась в ОКБ-1 (ныне – РКК «Энергия» имени С.П. Королёва), там же, где прежде был создан первый в истории человечества искусственный спутник Земли. Отечественным ученым и инженерам в течение десяти лет (1962–1973 гг.) удалось разработать и построить два космических аппарата «Лунаход-1», и «Луноход-2». Первый был доставлен к месту эксплуатации орбитально-посадочным комплексом «Луна-17» 17 ноября 1970 года, второй – 16 января 1973 года «Луной-21». По сути, была создана первая в истории космонавтики передвижная научная лаборатория для исследования небесного тела, которая отвечала ряду требований. К их числу следует отнести продолжительную работоспособность в жёстких условиях Луны; минимальную массу при максимальной проходимости; высокую надёжность. Но главное – было разработано дистанционное управление движением лунохода, которое не имело аналогов в мировой практике. Оно представляло собой сложный контур «человек–машина», что включает анализ текущего состояния бортовых систем аппарата и изменяющихся ситуаций, передаваемых по радиолинии Земля–борт–Земля. Также речь идет о передаче и приёме всех видов информации радиотехническими средствами, об оценке специалистом телевизионной (ТВ) и телеметрической (ТМ) информации и принятии им на выходе оптимального решения. Тем самым появилась не существовавшая ранее на Земле специальность «водитель лунохода».*

Ключевые слова: *луноход, телеуправление, лунодром, пункт управления луноходом, водитель лунохода, экипаж лунохода.*

Для цитирования: *Довгань В.Г. Страницы истории управления луноходом (к 50-летию создания экипажа лунохода) // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 29–45.*

FROM THE HISTORY OF THE «LUNOKHOD» OPERATION (IN COMMEMORATION OF THE 50th ANNIVERSARY OF THE CREATION OF THE «LUNOKHOD» CREW)

V.G. Dovgan

The Russian Engineering Academy, Moscow, Russia

Abstract: *One of the biggest milestones in the history of unmanned space flights was the exploration of the Moon with the help of the «Lunokhod» robotic rovers. The author's personal participation in the program puts him in a unique position for analyzing the history of the first extra-terrestrial vehicle and the radio-technical complex for its testing. It enables him to identify the criteria for the selection and training of the ground-based «Lunokhod» operators and to formulate training requirements for the involved specialists. The idea of developing lunar robots belonged to the General Designer Sergei Korolev who launched a respective program on the basis of his Moscow-based Special Design Bureau 1, or OKB-1, currently known as the S.P. Korolev Rocket and Space Corporation «Energia». The project was implemented through a collaboration between OKB-1 and an R&D institute, VNII-100, in the Leningrad region. Most of the program testing and training work was performed at a facility and lunodrome near the city of Simferopol in the Crimea. The same place became the site for the «Lunokhod» program control center.*

In the course of a decade (1962–1973), Soviet scientists and engineers managed to develop two space robots – «Lunokhod-1» and «Lunokhod-2». The first of the two was delivered to the Moon by the «Luna 17» automated space complex on November 17, 1970. The second was launched from aboard its successor, «Luna-21», on January 16, 1973. The events marked the appearance of a pioneer mobile research laboratory in the study of celestial bodies. It was not only the first such laboratory in the history of space exploration, but also one that met a number of important requirements. These included extended operability in rough lunar conditions, minimal mass along with maximum cross-terrain capability, and high reliability. Most importantly, the program produced an unprecedented remote control system

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

for navigating a robot's motion. This system was a complex "man-machine" contour which analyzed the current condition of the vehicle's on-board systems and transmitted information about changing situations with the help of an Earth-board-Earth command radio line. It sent and received all kinds of mapping data by radio-technical means, and included evaluation of the received television and tele-metrical information by a specialist, who made optimal decisions on the vehicle's further movements. The «Lunokhod» automated system introduced the term «teleoperatio» in the world practice of extraterrestrial vehicle control and brought to life the previously non-existent professional specialization of a «Lunokhod» operator.

The «Lunokhod» rovers were controlled from Earth by two 5-men teams of teleoperators (commander, pilot, navigator, flight engineer, and radio antenna operator) who worked in shifts. Preparation of operators for the program started in the summer of 1968. The author who was trained as a pilot focuses his reminiscences on the period of initial training and on the «Lunokhod-1» 1970–1971 space mission which continued for 301 active days. He reviews the functions of each teleoperator and the specific challenges of their work, such as moving the vehicle on the rough lunar surface, planning and setting its course, monitoring the electronic equipment, transmitting and receiving time-delayed TV images, maintaining «Lunokhod's» around-the-clock communication with the control center, and making final decisions in emergency situations. Special attention was given by program managers to the rational division of functions between the crew and the automatic means, and among the different crew members. Other objectives included the nurturing of capacity for extended mental focus and attention, good memory skills, quick reaction, information interpretation, and decision-making times, accurate determination of distance to obstacles, and ability to evaluate the situation ahead of time to compensate for time delays in the control system.

The creation and success of «Lunokhod-1» have already become part of the world history of science and technology. Having carried out a significant amount of scientific research, the first-ever teleoperated «Lunokhod» stays on the Moon as a monument to the triumph of the Soviet space program.

Key words: *«Lunokhod, teleoperation, lunodrome, Lunokhod control center, Lunokhod operator, Lunokhod crew.*

For citations: *Dovgan V.G. From the History of the «Lunokhod» Operation (in Commemoration of the 50th Anniversary of the Creation of the «Lunokhod» Crew). Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 29–45.*

Управление луноходом
(Lunokhod control)

Советские экспедиции на Луну в начале семидесятых годов прошлого века наглядно подтвердили целесообразность исследования её поверхности передвижными научными лабораториями. Это – «Луноход-1», доставленный на Луну 17 ноября 1970 года орбитально-посадочным комплексом «Луна-17», и «Луноход-2» – 16 января 1973 года «Луной-21».

Впервые в официальных документах о необходимости «посадки на Луну автоматических самоходных аппаратов с научными приборами» упоминается в письме М.В. Келдыша в государственные органы от 22 декабря 1962 года.

Идея создания такого космического аппарата родилась там же, где и первый спутник – в ОКБ-1 (ныне – РКК «Энергия» имени С.П. Королёва), и принадлежит она его Главному конструктору С.П. Королёву. Успешные запуски советских искусственных спутников Земли позволили предприятиям ракетно-космической отрасли, воинским частям и учреждениям Министерства обороны накопить определённый опыт для осуществления межпланетных полётов. В ОКБ-1 приступили к реализации принятого 20 марта 1958 года правительственного Постановления «О запусках космических объектов в направлении Луны», получившего наименование Программа «Е». Работы в рамках этой программы С.П. Королёв рассматривал в свете своих замыслов изучения Луны пилотируемыми космическими кораблями (КК). Одним из её звеньев были разработка и конструирование дистанционно управляемого с Земли транспортного средства (ТС) для космонавтов, которые готовились к полёту на Селену. Предполагалось, что до пилотируемого полёта в выбранные основной и резервный районы прилунения КК будут отправлены два таких передвижных средства. Их цель – детально обследовать районы, чтобы выбрать оптимальное место посадки пилотируемого корабля. Они являлись бы и радиомаяками при снижении КК, а затем (в случае необходимости) и средством доставки космонавта к резервному кораблю.

В конце 1959 года С.П. Королёв обратился к Главному конструктору головного танкового КБ Ленинградского Кировского завода Ж.Я. Котину с предложением разработать для такого внеземного ТС самоходное шасси. Однако научно-технический совет завода после рассмотрения нескольких вариантов проекта шасси решил от дальнейших исследований отказаться. Разработка ТС поручается НИИ автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения (НАТИ). Но вскоре руководство НАТИ направило в Государственный комитет по оборонной технике СССР (ГКОТ) официальную просьбу о снятии с института работы по космической тематике.

Мстислав Вселодович Келдыш
и Сергей Павлович Королёв
(Mstislav V. Keldysh and Sergey P. Korolyov)

К этому времени научный и практический опыт подмосковного ОКБ-1 позволил сформулировать предварительные требования к системам лунного самоходного аппарата (ЛСА) и соответственно определить состав его бортовой аппаратуры. В числе требований – продолжительная работоспособность в жёстких условиях Луны; минимальная масса при максимальной проходимости; дистанционное радиотелевизионное или автономное программное управление движением; высокая надёжность.

В июле 1963 года С.П. Королёв предложил директору ленинградского ВНИИ-100 (ныне – ОАО «ВНИИТрансмаш», пос. Горелово Ленинградской обл.) В.С. Старовойтову разработать шасси для ЛСА. В.С. Старовойтов дал согласие, и работы по теме «Определение возможности и выбор направления в создании самоходного шасси аппарата Л-2» начались под научным руководством начальника отдела новых принципов движения А.Л. Кемурджиана.

Александр Леонович Кемурджиан
(Alexander L. Kemurdzhian)

Основанием для проведения работ послужило письмо 12 Управления ГКОТ от 13 сентября 1963 года № 12/394сс, в котором отмечалось, что «…в соответствии с поручением Председателя ГКОТ СССР т. Зверева С.А. в отделе новых принципов движения ВНИИ-100 организовать специальную группу для изучения и определения возможных направлений работ по созданию самоходных средств передвижения по поверхности Луны совместно с ОКБ-1».

Работы между ОКБ-1 и ВНИИ-100 продолжились уже на договорной основе.

Для ознакомления с выполненными проектными разработками и экспериментальными исследованиями 31 мая 1964 года в Ленинград прибыли С.П. Королёв, М.К. Тихонравов, С.С. Крюков, К.Д. Бушуев, А.П. Абрамов, В.В. Молодцов и В.П. Зайцев. И уже 8 июля 1964 года научно-исследовательский отчёт № 642524 по этой теме был утверждён В.С. Старовойтовым. Именно в этом документе хронологически впервые употреблено слово «луноход».

10 февраля 1965 года вышло Решение № 23 ВПК при Президиуме СМ СССР, поручавшее ВНИИ-100 разработку лунохода.

2 марта 1965 года ОКБ-301 Машиностроительного завода имени С.А. Лавочкина (МЗЛ, ныне ФГУП «НПО имени С.А. Лавочкина», г. Химки Московской обл.) был назначен Георгий Николаевич Бабакин.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Георгий Николаевич Бабакин
(Georgy N. Babakin)

Проект восьмиколёсного шасси в варианте повышенной надёжности впервые был обоснован сотрудниками ВНИИ-100 в НИР «Разработка шасси самоходного автоматического аппарата для исследования Луны» (тема «Шар»). Отчёт № 652519 был утверждён в мае 1965 года.

В середине 1965 года С.П. Королёв передал работы по созданию автоматических межпланетных станций для исследования планет Солнечной системы и Луны, в том числе и лунохода, коллективу МЗЛ, который был определён головной фирмой непилотируемых комических аппаратов.

Решением МНТС по космическим исследованиям при АН СССР головной организацией нового научного направления – исследования физико-механических свойств грунта Луны и планет Солнечной системы – был определён ВНИИ-100.

Научно-технический потенциал обоих предприятий позволил в кратчайшие сроки успешно продолжить лунную программу, начатую в ОКБ-1.

В ноябре 1965 года между ними был заключён договор, в котором определялись задачи: коллектив из Химок отвечал за создание и доставку на Луну передвижной научной лаборатории, а ленинградский ВНИИ-100 – за создание самоходного шасси с блоком автоматического управления и системой его безопасности с комплектом информационных датчиков.

Техническое задание на ходовую часть лунохода Г.Н. Бабакин подписал 18 июня 1966 года.

Первый образец шасси в конце 1967 года был изготовлен и доставлен для испытаний на МЗЛ. К этому времени под руководством Г.Н. Бабакина была полностью готова вся конструкторская документация по луноходу.

Таким образом, *луноход* – это космический аппарат, выполненный в виде дистанционно управляемого транспортного средства высокой проходимости с размещённой на нём научной аппаратурой. *Это первая в истории космонавтики передвижная научная лаборатория для исследования небесного тела*, доставляемая к месту эксплуатации орбитально-космическим комплексом.

Дистанционное управление луноходом представляло принципиально новую проблему, которая до того времени ни советской, ни зарубежной космонавтикой ещё не решалась.

В начале апреля 1968 года Г.Н. Бабакин прибыл к начальнику Центра Командно-измерительного комплекса (КИК, а ныне – Главный испытательный космический центр МО РФ имени Г.С. Титова) генерал-майору И.И. Спице с предложением по формированию специалистами КИК группы операторов для управления с Земли необычным космическим транспортом. Предложение получило одобрение, и в мае на Научно-измерительные пункты (НИП) поступила телефонограмма, в которой предлагалось направить в Москву офицеров, желающих посвятить себя испытательной работе по исследованию космоса.

В конце мая в Институт медико-биологических проблем (ИМБП) для медицинского обследования прибыло более 40 офицеров, отобранных из многочисленных добровольцев. Квалифицированные медицинские специалисты в течение месяца придирчиво оценивали их общее физическое состояние, зрение и слух, выносливость, возбудимость, долговременную и оперативную память, умение ориентироваться в пространстве, способность переключать внимание, адаптивность и многое другое.

11 июля того же года у заместителя начальника Центра КИК по научной части и измерениям генерал-майора П.А. Агаджанова состоялось совещание, на котором присутствовали заместитель Г.Н. Бабакина по лунной тематике О.Г. Ивановский, начальник НКВЧ

полковник А.А Большой, начальник отдела 25 этой части полковник А.П. Романов, начальник отдела ИМБП полковник медицинской службы Ю.А. Петров и др.

А.П. Романов представил 18 офицеров, которые выдержали испытания, и предложил их включить в состав специальной группы.

Павел Артемьевич Агаджанов
(Pavel A. Aghajanov)

Олег Генрихович Ивановский
(Oleg G. Ivanovskiy)

П.А. Агаджанов разъяснил предназначение такого набора: научиться дистанционному управлению из Симферопольского Центра дальней космической связи (ЦДКС) самоходным аппаратом на Луне – передвижной научной лабораторией.

О.Г. Ивановский обратил внимание на то, что профессия оператора дистанционного управления инопланетным транспортным средством является принципиально новой и требует понимания поставленных перед участниками задач большой государственной значимости.

После персонального собеседования в группу операторов были включены Ю.Ф. Васильев, К.К. Давидовский, В.Г. Довгань, Н.М. Ерёменко, Н.Н. Иванов, А.И. Калиниченко, А.Е. Кожевников, Н.Я. Козлитин, Г.Г. Латыпов, Л.Я. Мосензов, В.М. Сапранов, В.Г. Самаль, И.Л. Фёдоров и В.И. Чубукин.

14 июля эта группа была представлена Г.Н. Бабакину. Он придавал особое значение встрече с людьми, которые толком и не знали, чем им придётся заниматься в течение нескольких лет. У нас в памяти сохранились его напутственные слова: «Хочу предупредить: техника, с которой вам предстоит работать, не то, что новая, – новейшая. Она создаётся на ваших глазах, и вы станете активными участниками этого процесса. Как лётчики-испытатели в авиационных КБ… Но там есть опыт, преемственность, традиции, а мы всё начинаем с нуля, впервые… Будет трудно. И нам, и вам. И ответственность у нас будет одинаковая. Как говорится, “синяки и шишки” общие… Но вы станете первопроходцами, а такое счастье в жизни выпадает не каждому. Чем скорее вы начнёте входить в курс дела, тем будет лучше для вас. Вы должны знать всю машину. Мало будет толку, если вы изучите только кнопки, на какую нажимать, когда ехать вперёд, а на какую, когда ехать назад. За каждой кнопкой вы должны видеть всю схему и логику её работы».

Здесь же было принято решение о создании трёх учебных групп. Одна из них в составе Васильева, Кожевникова, Козлитина, Мосензова и Фёдорова была прикреплена к ОКБ-301, где полным ходом шли испытания бортовых систем лунохода. Довгань, Ерёменко, Иванов, Калиниченко, Латыпов, Сапранов и Чубукин, изъявившие желание стать водителями будущего лунохода, убыли во ВНИИ-100. Давидовский и Самаль (будущие штурманы) – в Институт космических исследований (ИКИ) АН СССР, в одном из отделов которого была сформирована оперативная научная группа во главе с молодым учёным, кандидатом технических наук Б.В. Непоклоновым.

По программе, утверждённой А.Л. Кемурджианом, ведущие специалисты – разработчики шасси И.С. Болховитинов, П.Н. Бродский, Ю.И. Васильев, Б.В. Гладких, В.В. Громов, И.Ф. Кажукало, Ю.П. Китляш, Д.Я. Кляцкин, Г.Н. Корепанов, Б.М. Лубенко, М.И. Мален-

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

ков, А.В. Мицкевич, В.К. Мишкинюк, А.М. Носов, В.Н. Петрига, В.Н. Плохих, Л.Н. Поляков, А.Ф. Соловьёв, П.С. Сологуб, Ю.А. Хаханов, Л.Т. Черепанова, Ф.П. Шпак и другие специалисты приступили к обучению будущих водителей лунохода. Практические занятия проходили непосредственно в цехах и лабораториях, где проводились испытания и эксперименты с технологическими образцами шасси лунохода. В результате учёбы мы ознакомились с технической документацией, конструктивными особенностями его систем, принципиальными схемами, логикой дистанционного управления, а также и с современными представлениями о нашем естественном спутнике.

Кандидаты в водители лунохода.
Слева направо: Г. Латыпов, В. Сапранов и В. Довгань.
Ленинград, июль 1968

(Candidates for the position of «Lunokhod» operator.
Left to right: G. Latypov, B. Sapranov and B. Dovgan.
Leningrad, July 1968)

Через месяц группы собрались в Химках, где продолжилась их совместная учёба по программе, утверждённой О.Г. Ивановским. Преподавателями были руководители КБ, отделов и лабораторий, разработчики и создатели всех систем лунохода. Свои знания и опыт передавали такие корифеи-специалисты, как А.И. Авербух, Д.К. Бронтман, В.П. Булеков, Ю.П. Дельвин, А.Н. Дятлов, А.В. Кантор, С.И. Крупкин, Ф.М. Овсиенко, В.П. Пантелеев, В.Г. Перминов, Г.Н. Роговский, А.М. Рябов, В.Г. Тимонин, А.Г. Чесноков и другие, а также опытные инженеры В.А. Коровкина, Л.Н. Порошин, В.Ю. Толкачёв и Л.А. Шутова специальной лаборатории, руководимой Ф.И. Бабичем. Она была создана ещё в июле 1967 года на основании решения ВПК при Президиуме СМ СССР и на неё возлагалась разработка системы дистанционного управления и логики лунного самоходного аппарата.

На фирме М.С. Рязанского (НИИ-885, НИИ Приборостроения Министерства общего машиностроения, ныне – Открытое акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», сокращённо – ОАО «Российские космические системы») курсы лекций и практических занятий по радиотехническим системам лунохода и наземным средствам его управления проводили Е.Н. Галин, В.Г. Говоров, Е.П. Горбунов, А.И. Дунаев, В.В. Засецкий, М.М. Кручкович, Е.П. Молотов, А.С. Селиванов, А.Н. Сорокин и другие специалисты.

Здесь мы впервые ознакомились с новым термином в космической технике – система дистанционного управления (СДУ). Выбор рациональной структуры СДУ был не прост, так как эта система «замыкалась» на человека с его психикой, свойственной ему реакцией, способностью к анализу и другими особенностями, которыми характеризуется мыслящая личность.

Известно, что распространение радиоволн от Земли до Луны составляет почти 1,3 секунды. Телеизображение с Луны до Земли идёт также 1,3 секунды. В сумме уже 2,6 секунды. Анализ ситуаций и учёт времени исполнения команды управляющими органами показал, что минимальное общее время задержки составляет около 4,1 секунды.

В этом заключалось принципиальное отличие в процессах управления транспортным средством (ТС): в одном случае, когда ТС управляется оператором, находящимся непосредственно на нём, и в другом – когда управление ТС осуществляется оператором, находящимся на значительном расстоянии от него.

Передача телевизионного изображения (25 кадров в секунду при чёткости 625 строк) могла быть осуществлена только по высокоскоростной радиолинии между луноходом и ПУЛ. Но такой технической возможности тогда не было.

Михаил Сергеевич Рязанский
(Mikhail S. Ryazan)

Для управления движением лунохода главный конструктор НИИ-885 Михаил Сергеевич Рязанский предложил применить малокадровую телевизионную систему (МКТВ). Сотрудниками Всесоюзного НИИ электролучевых приборов (ВНИИ ЭЛП, г. Ленинград) под руководством одного из ведущих разработчиков А.Г. Лапука была создана новая оригинальная трубка – видикон с регулируемой памятью (ВРП). В НИИ-885 сотрудники лаборатории В.А. Тимохина при активном участии А.С. Селиванова, применив принцип работы ВРП, создали для лунохода бортовую телевизионную камеру, которая сохраняла на видиконе изображение лунной поверхности в течение времени, пока осуществлялась его развёртка в режиме телевизионного вещательного стандарта. Это позволило производить передачу на Землю одного кадра изображения на более низких скоростях в одном из четырёх режимов: 3,2; 5,76; 10,88 и 21,12 секунды. Выбор режима осуществлялся по радиокомандам с Земли. При этом чёрно-белое изображение («картинка») на мониторах наземных устройств напоминала сменяющиеся друг друга кадры диафильма и была не самого высокого качества (чёткость падала до 350–400 строк, а на краях поля – до 300 строк). В верхнем углу каждого снимка фиксировался его номер и время получения.

Наземные устройства обратного преобразования были разработаны сотрудниками кафедры телевидения Московского электротехнического института связи (МЭИС), руководимой профессором С.И. Катаевым. В этой работе участвовали и сотрудники НИИ-885 А.С. Селиванов, Ю.М. Тучин и О.Е. Малючков.

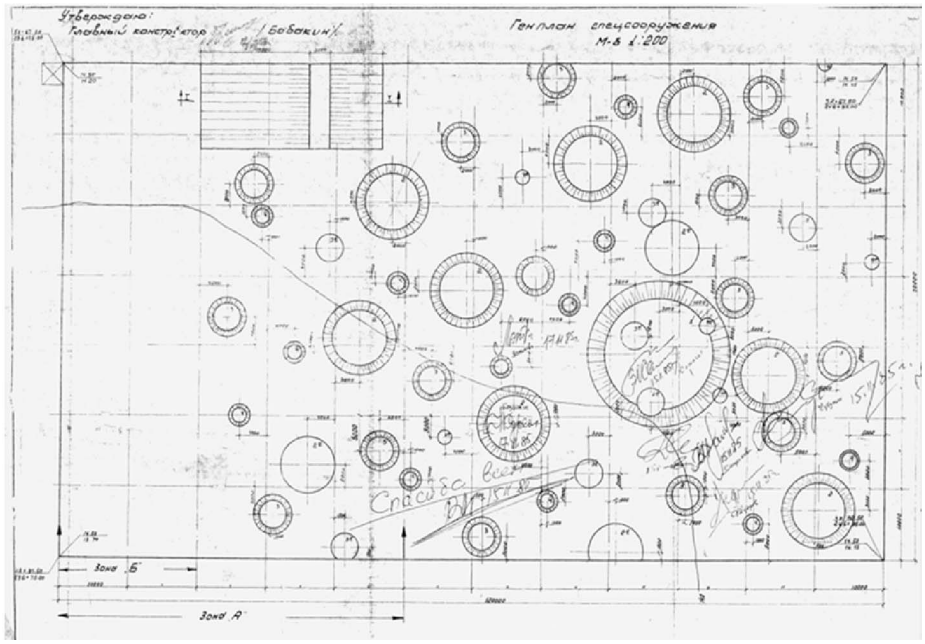
Управление луноходом имело свои специфические особенности. Они заключались в отсутствии непосредственного восприятия оператором процесса самого движения, в затруднённом восприятии местности по телеэкрану, во временны́х задержках при выдаче на борт радиокоманд и приёме с борта телевизионного изображения и телеметрической информации, а также в зависимости характеристик подвижности самоходного ТС от условий рельефа и свойств грунта. Это потребовало наличия определённых навыков и психофизических качеств, прежде всего, у водителя. К первым относились способность оперировать пространственными представлениями в отрыве от управляемого ТС и умение оценивать обстановку с упреждением во времени для компенсации временны́х задержек в системе управления. Ко вторым – хорошая память, способность к длительному вниманию, умение по телевизионному изображению оперативно оценивать конкретную обстановку, определять расстояние до препятствий и их размеры, быстрота реакции и осмысления информации, выбор рационального дальнейшего маршрута движения ТС и принятие решения по методу и способу управления им.

В настоящее время в мировой практике управления внеземным ТС применяется термин «телеоператорное управление».

На технической территории Симферопольского ЦДКС в конце августа под руководством полковника Н.И. Бугаева были созданы лунодром и пункт управления луноходом (ПУЛ).

Николай Иванович Бугаев
(Nikolay I. Bugaev)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3



«Генплан спецсооружения» – лунодром
(General plan of the special construction site – «lunodrome»)

12 июля 1968 года Г.Н. Бабакин утвердил «Генплан спецсооружения» – лунодрома – «кусочка» Луны, перенесённого на Землю. На площади приблизительно один гектар (120 × 70 м), по тогдашним представлениям селенологов, он представлял собой весьма точную копию некоторых участков лунной поверхности.

Строительство осуществлялось Евпаторийским УНР (начальник полковник Ю.Е. Атас). В сжатые сроки военные строители выполнили задание. Надо отдать должное и их руководителям – С.А. Ижорскому, В.Я. Левину, О.А. Цирбаеву и, конечно, начальнику строительного отдела Центра КИК подполковнику В.Е. Ржаному.

На отведённом участке срезали растительный слой и заменили его песчаным грунтом (около 8000 м^3). Соорудили различные возвышенности – горки (ещё более 3000 м^3 грунта). Вырыли 54 кратера, в числе которых были 19 кратеров диаметром 2 м, 23 – диаметром 4 м, 11 – диаметром 8 м и 1 – диаметром 16 метров. Разместили более 160 камней различного размера, всю площадь покрыли евпаторийским ракушечником слоем 20 см (а это около 1600 м^2) и покрасили в серо-чёрный цвет.

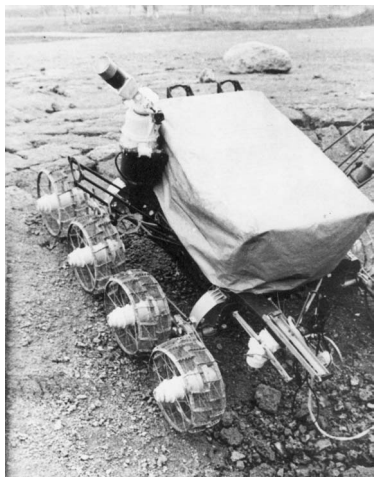
На этом лунодроме и должен был реализовываться комплекс задач по приобретению операторами навыков управления луноходом.

ПУЛ предназначался для командно-программного управления ЛКА в режиме реального времени с учётом принимаемой телеметрической, телевизионной, фотометрической, научной и других информаций. С участием экипажа были составлены технические задания на оборудование, разработано и отлажено математическое обеспечение для автоматизированного комплекса обработки телеметрической информации (АКОТИ) с аппаратурой отображения и автоматизированной обработки СТИ-90М.

В начале сентября один из технологических образцов лунохода, имевший индекс 108А, был доставлен на лунодром.

Это – полномасштабный макет лунохода с настоящим шасси, но без панели солнечной батареи, с телевизионными системами, с введённой задержкой, соответствующей времени распространения радиоволн от Земли до Луны и обратно. Правда, связь с этим «луноходом» осуществлялась не по радиоканалу, как это должно быть в реальных условиях, а по 16-жильному кабелю. Его длина – около 110 м, а масса – более 100 кг.

В середине сентября на НИП-10 прибыла наша группа из четырнадцати офицеров.



Технологический образец лунохода 108А.
Сентябрь 1968

(Technological sample
of the 108A «Lunokhod» moon rover. September, 1968)

Для разработки программы и методик тренировок операторов по управлению луноходом была создана группа, в которую вошли П.С. Сологуб (руководитель), В.В. Бабенко, Ф.И. Бабич, Ю.И. Васильев, В.В. Громов, О.А. Зинкевич, Ю.П. Китляш, В.А. Коровкина, А.И. Краснов, Б.М. Лубенко, Б.В. Непоклонов, В.Н. Петрига, Л.Н. Поляков, О.А. Сеньков, Ю.А. Хаханов, Л.Т. Черепанова, Ф.П. Шпак, а также сотрудники ИМБП МЗ СССР кандидат медицинских наук полковник медицинской службы П.Я. Нурдыгин, И.В. Хользунова, Н.А. Нефедченко и др. Вскоре представленные материалы были согласованы с О.Г. Ивановским и утверждены Г.Н. Бабакиным.

Телеоператорное управление луноходом – это сложный контур «человек–машина» с анализом текущего состояния бортовых систем аппарата, изменяющихся ситуаций, передаваемых по радиолинии Земля–борт–Земля, передачи и приёма всех видов информации радиотехническими средствами, оценки принятой телевизионной (ТВ) и телеметрической (ТМ) информаций и принятия оптимального решения. Особенности управления движением лунохода привели, по существу, как к формированию нового класса задач в теории управления ТС, так и к появлению не существовавшей ранее на Земле специальности «водитель лунохода».

Создатели шасси лунохода с его экипажем.
Слева направо: Ю. Бойченко, Л. Мосензов, К. Давидовский, Б. Непоклонов, П. Сологуб, А. Романов, В. Сапранов, В. Самаль, В. Довгань, Н. Ерёменко, Ф. Шпак, А. Чвиков, Н. Козлитин, Л. Черепанова, Л. Поляков, В. Петрига, И. Фёдоров, А. Кожевников, Б. Лубенко, Г. Латыпов, В. Чубукин

(The developers of the «Lunokhod»'s chassis, and the lunar rover's crew.
Left to right: Yu. Boitchenko, L. Mosenzov, K. Davidovskiy, B. Nepoklonov, P. Sologub, A. Romanov, V. Sapranov, V. Samal, V. Dovgan, N. Eremenko, F. Shpak, A. Chvikov, N. Kozlitin, L. Cherepanova, L. Polyakov, V. Petriga, I. Fedorov, A. Kozhevnikov, B. Lubenko, G. Latypov, B. Chubukin)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Но водитель лунохода – важнейший, но не единственный элемент контура. И теория, и практика показали, что для управления луноходом одного человека (водителя) просто недостаточно. Большой объём принимаемой информации, необходимость быстрой её переработки (и особенно в экстремальных, нештатных, ситуациях) потребовали наличия операторов и других специальностей.

Луноход – многофункциональный, комплексный, насыщенный электронными приборами и механизмами аппарат, и контроль состояния всех его служебных бортовых систем не простое дело.

Получение такой информации осуществлялось по телеметрическим каналам и фиксировалось на 32 регистрирующих стойках. Каждая из них обслуживалась телеметристом-дешифровщиком, входящим в дежурный расчёт ПУЛ. Кстати, в таком расчёте большую его часть составляли служащие Советской Армии – члены семей военнослужащих НИП-10.

Среди сотен измеряемых параметров есть десятки таких, без знания которых управление луноходом просто невозможно. Оценка состояния всех систем лунохода в режиме реального времени была поручена оператору-бортинженеру.

Бортинженеры А. Кожевников (слева) и Л. Мосензов (Flight engineers A. Kozhevnikov (left) and L. Mosenzov)

Прокладка пройденного пути по всей трассе движения лунохода – задача, впервые поставленная в мировой космической практике, – решалась, прежде всего, путём изучения принятых фототелепанорам лунной поверхности. По теням определялось положение Солнца над горизонтом и, самое главное, обнаруживались не увиденные ранее на ТВ-экране препятствия в виде камней, кратеров, трещин и т.п. Тщательно анализировалась информация с бортового курсового гироскопа, гировертикали и датчиков пройденного пути. В процессе сеанса движения по докладам водителя и бортинженера принималось решение о выборе дальнейшего курса движения лунохода. Этот трудный и непрерывный процесс счисления пути, прокладки трассы движения в заданном направлении был поручен ещё одному оператору – штурману.

Моделирование процесса перемещения лунохода показало, что нельзя исключать случаи, когда при определённых углах крена и дифферента, поворотах на месте и в движении остронаправленная антенна (ОНА) может «потерять» Землю, и радиоканал «борт – Земля» на какое-то время может прерваться. Антенна имеет свой привод, благодаря которому её тонкий радиолуч направлен на Землю так, что сигнал, принимаемый и излучаемый ею, всегда максимален. От этого зависит качество исполняемых луноходом команд и получаемой с борта информации. Бесперебойную радиосвязь с луноходом обеспечивал оператор по наведению ОНА. В его обязанности входила выдача радиокоманд для корректировки пространственного положения антенны в строгом направлении её на Землю в соответствии с динамикой движения лунохода.

И, конечно, как и в каждом коллективе, должен быть командир, принимающий доклады всех четырёх операторов, осуществляющий общее руководство их работой и принимающий в ответственные моменты окончательное решение. Тогда и появилось впервые понятие «экипаж лунохода». Экипаж (от французского *equipage* – *коллектив, команда*) – подразделение, непосредственно обслуживающее танк, БМП, самолёт и другую самодвижущуюся технику.

Но впервые экипаж и ТС разделяло расстояние почти 400 000 километров.

Безусловно, это требовало совершенно нового подхода при рассмотрении звена «человек – машина», воплощения новых форм со-

четания автоматики с операторской работой наземной группы управления – экипажем лунохода. Особое значение имело рациональное распределение функций между экипажем и средствами автоматики, а также в самом экипаже между командиром, водителем, оператором ОНА, бортинженером и штурманом. Каждому члену экипажа с избытком хватало дел, что и подтвердили первые же тренировки с технологическим образцом лунохода.

Необходимо отметить, что инженерно-психологические исследования, рациональный психофизиологический отбор операторов, тщательное формирование и закрепление необходимых навыков, а также оперативный контроль за состоянием членов экипажа во время сеансов связи управления луноходом стали необходимым элементом в общем комплексе работ по созданию системы телеоператорного управления, без чего общая её надёжность не могла бы поддерживаться на надлежащем уровне.

Перед началом работы операторы проходили медицинский контроль, а в процессе вождения производилась экспресс-диагностика их эмоционального напряжения. Нательные специальные «лифчики» с датчиками автоматически регистрировали частоту сердечных сокращений, кровяное давление, температуру тела и другие показатели сердечно-сосудистой деятельности.

Программа тренировок водителей предусматривала постепенное усвоение ими расстояния до объектов (вешка, трафарет, камень и т. п.), установленных на лунодроме и предъявляемых на видеоконтрольное устройство (ВКУ).

На персональных формализованных бланках, разработанных Л.Н. Поляковым, результаты регистрировались и сравнивались с фактическими данными.

Центральное место на пульте водителя (ДУ-001) занимает телевизионный экран с диагональю 35 см, на который по рационализаторскому предложению водителей наложили прозрачную плёнку. На ней было изображение двух прямых чёрного цвета, исходящих из нижних крайних точек экрана и сходящихся в центре на линии горизонта лунной поверхности и космоса при нулевых значениях крена и дифферента. Эти прямые показывали, где пройдут колёса левого и правого бортов лунохода. Сетка была создана в двух вариантах: для центральной и боковой курсовых телекамер. Такие же сетки использовались и на ВКУ пульта командира экипажа (ДУ-003).

Обсуждение программы очередного сеанса.
Справа налево: Н. Ерёменко, Б. Непоклонов, Г. Латыпов, В. Чубукин, В. Сапранов, В. Самаль, К. Давидовский

(Discussion of the next session program.
Left to right: N. Eremenko, B. Nepoklonov, V. Latypov, V. Chubukin, B. Sapranov, B. Samal, K. Davidovskiy)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Обычно до 8-9 м местность просматривалась хорошо, а далее детали сливались, и оценка обстановки затруднялась. Поэтому эти прямые соединили горизонтальными линиями с отметками 2, 4, 6 и 8, соответствующим расстояниям в метрах от места стоянки лунохода. Это позволяло водителю оперативно оценивать обстановку по ходу движения и принимать правильное решение.

Слева от ВКУ – стрелочные приборы «Дифферент», «Крен», «Курс» и «Путь», которые информировали водителя о величинах углов подъёма (спуска) и наклонов шасси лунохода, направлении его движения и пройденном пути.

Направление движения лунохода определялось наклоном рукоятки (штурвала), которая имела пятнадцать фиксированных положений. Изменение положения рукоятки было подготовкой к выполнению команды на исполнение, а сама радиокоманда уходила на борт лунохода лишь при нажатии кнопки, находящейся на торце рукоятки. При установке рукоятки «от себя» в первое фиксированное положение («Вперёд») – луноход двигался вперёд на первой скорости (0,33 м/с), во второе («2-я скорость») – на второй скорости (0,66 м/с). При установке «на себя» в первое фиксированное положение («Назад») – движение назад на первой скорости. Поворот лунохода, как на месте, так и во время движения достигался смещением рукоятки «Налево» или «Направо» из того фиксированного положения, в котором она находилась. Для прекращения движения лунохода, рукоятку нужно было вернуть из любого положения в нейтральное (исходное) – «Стоп».

На горизонтальной панели находились кнопки, которые служили только для фиксированного поворота лунохода на месте. Одна из них – «Поворот 1» (5°), а другая – «Поворот 2» (20°). Направление поворота – в зависимости от положения рукоятки «Налево» или «Направо».

Кроме того, ещё три кнопки: «9 колесо» (перед началом движения в прямом направлении колесо опускалось на грунт по команде «Опустить» и поднималось – перед началом движения назад или поворотах на месте по команде «Поднять»); «Задержка» – включение и выключение старт – стопного режима движения на определённый временной интервал; «Проба грунта» – включение прибора определения проходимости (ПрОП) для оценки физико-механических свойств лунного грунта.

Также на этой панели располагались кнопки для дублирования выдачи команд в режиме движения лунохода в случае неисправности рукоятки (штурвала). При управлении лунохода с применением штурвала кнопки были закрыты крышкой. Кстати, они так ни разу и не использовались в реальной работе.

Каждая команда, выдаваемая водителем, отображалась на двух световых табло, одно из которых информировало о выдаче именно этой команды, а другое – об исполнении её на борту. Информация об исполнении (так называемая «квитанция») приходила на ПУЛ через 4,1 секунды. Сопоставляя выводимое на ВКУ изображение участка поверхности с показаниями приборов, водитель докладывал командиру о расстояниях до препятствий (камней, кратеров, расщелин и др.), их форме и размерах.

На борту лунохода была установлена система, которая обеспечивала безопасность движения. При достижении предельных величин дифферента или крена бортовая автоматика выдавала команду «Стоп». Команда «Стоп» выдавалась также и при превышении допустимого предела нагрузки на мотор-колёсах. При попадании колеса в расщелину было предусмотрено его отключение (отстрел), что делало его из ведущего ведомым и позволяло остальным колёсам, которые оставались ведущими, продолжать движение.

На первом этапе водители управляли луноходом по тестовым трассам: они видели на экране ВКУ разметки предлагаемого маршрута и старались свести до минимума отклонения от него. Тестовые трассы позволяли получать навыки управления. Вместе с тем многократное движение по одному и тому же маршруту давало возможность проследить, как в процессе тренировок формируются навыки у каждого водителя по точности вождения. На втором этапе водитель должен был по заранее заданному курсу самостоятельно выбирать маршрут движения.

По особой программе проходили подготовку операторы ОНА. Ведь от точности их действий зависело качество изображения «лунной» поверхности на телеэкране. Оптималь-

ное положение антенны обеспечивалось выдачей на борт лунохода команд с пульта оператора ОНА (ДУ-002): «Поворот 7,5», «Поворот 15», «Поворот 180», «Направо», «Налево», «Вверх», «Вниз» и «Стоп».

На этом пульте также было ВКУ и, кроме того, индикаторы уровня поля и система отображения углов поворота антенны. Каждая команда, выдаваемая и принимаемая оператором, также отображалась на световых табло по аналогии с пультом ДУ-001.

Большой тренировочный курс прошли командиры, штурманы и бортинженеры.

Пульт командира обеспечивал восприятие и переработку информации, поступающей с борта лунохода. Командир (как и водитель) имел перед собой приборы, по которым он оценивал положение машины по крену и дифференту, направление его движения (курс) и пройденный путь, а по ВКУ опознавал препятствия и определял расстояния до них. На этом основании он принимал решение о дальнейших действиях водителя. Кнопкой «Стоп» командир мог в любой момент прекратить движение лунохода.

Пункт управления луноходом.
Слева направо: командир экипажа И. Фёдоров,
оператор ОНА Н. Козлитин,
водитель лунохода В. Довгань

(The «Lunokhod» control center.
Left to right: Crew Commander I. Fedorov, operator
of the HST high gain antenna N. Kozlitsyn,
«Lunokhod» pilot V. Dovgan)

На пульты водителя, оператора ОНА и командира выводилась чёрно-белая фотография («картинка»), которая «зависала» на экране ВКУ на 3,2; 5,76; 10,88 или 21,12 секунды в зависимости от выбранного режима.

Если аппарат двигался, то за время такой задержки он мог пройти на первой скорости расстояние от 2,3 до 8,3 метров. Вот почему водитель обязан был доложить командиру (этот доклад слышали и все члены экипажа) информацию о препятствиях на трассе и предложить решение о выборе дальнейшего маршрута.

Приблизительно через две секунды борт лунохода принимал радиокоманду, о чём (ещё приблизительно через две секунды) поступала «квитанция» на пульты командира, водителя и оператора ОНА об исполнении выданной радиокоманды. Приобретённые навыки управления позволили водителям оперативно оценивать обстановку в секторе на расстоянии 3–9 метров и принимать решение при задержке более 7 секунд.

Это был странный способ управления, так как каждый раз на ВКУ появлялось изображение, которое не было похоже на предыдущее. Надо было хорошо вжиться в эту работу, чтобы ощущать движение лунохода как бы изнутри. Трудно придумать что-либо похожее в земных условиях, чтобы понять, как чувствует себя такой водитель. По крайне мере, естественных процессов, похожих на эти, у нас на Земле не происходит. Работа по практическому вождению требовала исключительной слаженности всего экипажа. Вначале тренировки проводились в дозированном режиме. Это значит, что решение о продолжительности движения фиксировалось определённым интервалом времени от начала движения до остановки лунохода. Это позволяло привыкнуть к необычной работе.

Вся информация от членов экипажа транслировалась по громкоговорящей связи. Поначалу на тренировках доклады были расплывчаты и многословны, каждый старался выдать свои данные, не прислушиваясь к докладам других. Потом стало приходить чувство коллектива, доклады стали согласованными и лаконичными. Рабочий день заканчивался детальным разбором всех заездов и программы дня в целом. Многократно проверялась правильность распределения функций между членами экипажа. Они специально тренировались на сработанность, слаженность, понимание друг друга. Создавалась экономная, лаконичная терминология для оценки обстановки и формулировки решений. Отрабатывались даже периодичность,

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

ритм докладов, форма взаимного привлечения внимания к наиболее важным параметрам или неожиданным ситуациям. Особо обращалось внимание на умение оценивать пространственные характеристики, определять расстояния по плоским изображениям на телевизионном экране.

Командиры и водители учились быстро оценивать обстановку, принимать решения на основании телеизображений, показаний приборов на пультах, данных телеметрии и коротких, односложных докладов штурмана и бортинженера. Эти навыки также необходимо было выработать заранее. Отрабатывались периодичность, ритм докладов командира (позывной «103»), водителя («101»), оператора ОНА («102»), бортинженера («105») и штурмана («104») »), форма взаимного привлечения внимания к наиболее важным параметрам или неожиданным ситуациям. Особо обращалось внимание на умение оценивать пространственные характеристики, определять расстояния до появляющихся препятствий и их размеры и формы по плоскому изображению на телевизионных экранах.

Пример доклада водителя командиру.

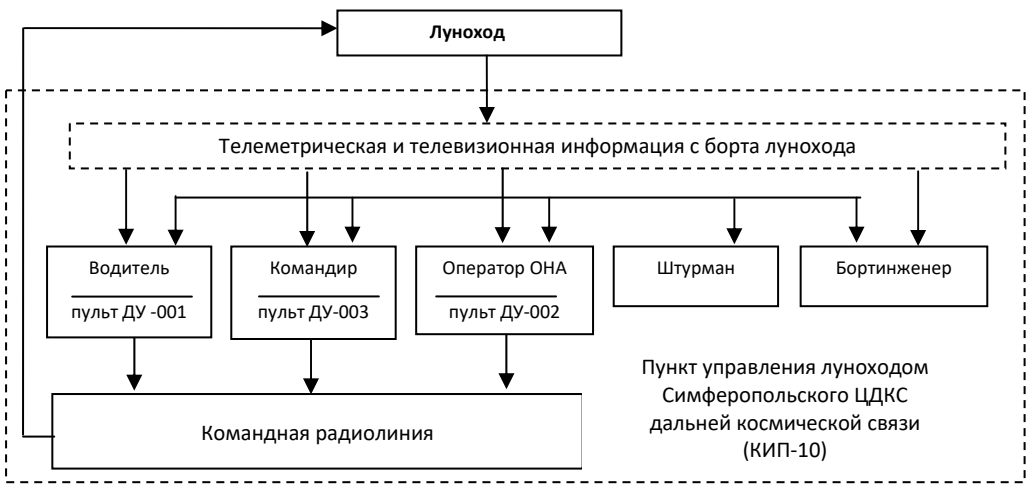
Водитель: «103-й! Я-101-й! Оценка обстановки: слева 15 – камень 20 на 40 на расстоянии двух метров; прямо кратер 1,5 на расстоянии трёх метров; справа 45 кратер более двух на расстоянии пяти метров. Решение – вперёд два метра».

Командир: «Я-103-й! Принято. Первая, вперёд!»

Водитель: «Вас понял. Первая, вперёд два метра».

Таким образом, телеоператорное управление луноходом можно представить в виде комплекса, состоящего из пункта управления луноходом, командной радиолинии, бортовой автоматики лунохода и экипажа лунохода. Определяющее звено в этом комплексе отводится экипажу.

Ещё во время тренировок было замечено, что в трудных ситуациях водитель лунохода испытывает значительное эмоциональное напряжение. Пульс учащался на 30–40 ударов в минуту по сравнению с нормой. Но в дальнейшем, по мере формирования навыков управления, эмоциональное напряжение снижалось. Со временем водители и командиры научились весьма точно определять расстояния до препятствий на «лунной» поверхности, диаметр и глубину кратеров, ширину трещин, размеры камней. Привыкли и к временным задержкам приходящей с борта информации. Определилась, в основном, методика управления луноходом. Операторы старались быстрее освоить технику лунного вождения, не унывать даже в самые трудные минуты. А такие были, особенно в начальный период тренировок.



Структурная схема телеоператорного управления луноходом
(A structural chart of the»Lunokhod» teleoperation)

Следует напомнить, что на период тренировок прибывали экспедиции со всех смежных организаций, принимавших непосредственное участие в предстоящей работе. Организация планирования, исполнения и контроль всех утверждённых мероприятий, в том числе и материально-технического обеспечения, было возложено на командование НИП-10. И надо отметить, что благодаря Н.И. Бугаеву, А.Я. Каркачу, В.П. Косолапову, В.Г. Мазурину, В.Н. Колбасу, В.С. Караченцеву и другим в тесном взаимодействии с руководителями экспедиций не было ни одного срыва программы испытаний.

Интенсивные тренировки на лунодроме проводились в преддверии первого старта очередного ЛКА с унифицированной посадочной ступенью и луноходом. В конце сентября в ЦДКС прибыла большая группа учёных и конструкторов во главе с М.В. Келдышем и министром МОМ С.А. Афанасьевым. Они ознакомились с пунктом управления и лунодромом, научно-техническим обеспечением, организацией и выполнением работ, членами экипажа лунохода. С большим интересом шло ознакомление с реальным дистанционным управлением «лунохода». С.А. Афанасьев и сам пожелал попробовать «порулить». Такая возможность ему была предоставлена. Сев за пульт водителя и получив инструктаж, он «проехал» по прямой около 1,5 м в старт-стопном режиме. «Тяжело, но интересно», – сказал он и пожелал всем успехов.

Были сформированы два состава (расчёта) экипажа:

- командир И. Фёдоров, водители В. Довгань, Н. Иванов и А. Калиниченко, оператор ОНА Н. Козлитин, штурман В. Самаль, бортинженер А.Кожевников;
- командир Ю. Васильев, водители Н. Ерёменко, Г. Латыпов и В. Сапранов, оператор ОНА В. Чубукин (он же – резервный водитель лунохода), штурман К. Давидовский, бортинженер Л. Мосензов.

Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 8 января 1969 года № 19-10 установила сроки запусков ЛКА в 1969 году: объекты проекта Е-8 (луноход) назначены на февраль, октябрь и ноябрь; объекты проекта Е-8-5 (забор и доставка на Землю лунного грунта) – на апрель, май, июнь, август и сентябрь.

Первый старт РН «Протон-К» с луноходом был назначен на 19 февраля 1969 года.

Силы и средства КИК, принимавшие участие в работе, доложили о своей готовности. Старт прошёл в назначенное время. Репортаж с Байконура: «10 секунд – полёт нормальный»... «20 секунд – полёт нормальный»... «30 секунд – полёт нормальный»... Затем сообщения прервались. Оказалось, что на 51,4 секунде полёта разрушился головной обтекатель, его обломки врезались в топливные баки первой ступени и пробили их, в результате чего РН «Протон-К» взорвалась.

Можно понять, с какими чувствами возвращались со своих рабочих мест участники этого несостоявшегося уникального эксперимента. Особенно тягостно было членам экипажа и группе управления. Тем более что согласно Директиве Главного штаба Ракетных войск стратегического назначения от 28 января 1969 года № 925035 в штат отдела 25 НКВЧ Центра КИК была введена лаборатория 3 (лунные самоходные аппараты).

Наконец-то, юридически было оформлено создание «лаборатории для дистанционного управления автоматическими самоходными аппаратами типа луноход». Именно так формулировалось в Постановлении ЦК КППС и СМ СССР от 4 февраля 1967 года № 115-46.

До посадки «Луны-17» и создания первой колеи передвижной научной лабораторией «Луноход-1» оставалось 626 земных суток.

Но этот «технический» перерыв для членов экипажа не прошёл без следа.

По рекомендации Г.Н. Бабакина члены экипажа приняли непосредственное участие в группах управления и анализа экспедиций КА «Луна-15» (13–21 июля 1969 года) и «Луна-16» (12–21 сентября 1970 года), предназначенных для взятия и доставки лунного грунта на Землю, тем самым повышая свои знания в телеуправлении ЛКА.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Члены Государственной комиссии с экипажем лунохода.
Справа налево, сидят: Г.Н. Бабакин – технический руководитель Государственной комиссии (ГК),
Г.А. Тюлин – председатель ГК, А.А. Большой – руководитель Главной оперативной группы управления (ГОГУ),
В.П. Пантелеев, А.П. Романов, Н.И Бугаев – заместители руководителя ГОГУ; стоят: В.Г. Самаль, Г.Г. Латыпов,
В.И. Чубукин, А.К. Чвиков – руководитель группы управления, И.Л. Фёдоров, Н.Я. Козлитин, Л.Я. Мосензов,
К.К. Давидовский, Н.М. Ерёменко, В.М. Сапранов, А.Е. Кожевников, В.Г. Довгань

(Members of the State Commission with the “Lunokhod” crew.
Front row, from left: G.I. Babakin – Technical Head of the State Commission (SC); G.A. Tiulin – SC Chairman;
A.A. Bolshoy – Head of the Main Operation Management Group (MOMG); V.P. Panteleev, A.P. Romanov,
N.I. Bugaev – MOMG Deputy Heads. Back row standing, from left: V.G. Samal G.G. Latypov, V.I. Chubukin,
A.K. Chvikov – Head of Group Management, I.L. Fedorov, N.Ya. Kozlitin, L.Ya. Mosenzov,
K.K. Davidov, N.M. Eremenko, V.M. Sapranov, A.E. Kozhevnikov, V.G. Dovgan)

Тренировки экипажа по управлению луноходом возобновились только в октябре 1969 года.

Через год 10 ноября 1970 года состоялся старт РН «Протон-К» с ЛКА «Луна-17».

17 ноября 1970 года в 06:46:50 главная задача – доставка на Луну передвижной научной лаборатории «Луноход-1» – завершилась успешно.

Государственная комиссия для телеоператорного управления «Луноходом-1» утвердила два расчёта экипажа. В состав первого расчёта вошли командир майор Н.М. Ерёменко, водитель старший лейтенант Г.Г. Латыпов, оператор ОНА старший лейтенант В.М. Сапранов, штурман майор К.К. Давидовский, бортинженер майор Л.Я. Мосензов, в состав второго – командир майор И.Л. Фёдоров, водитель майор В.Г. Довгань, оператор ОНА майор Н.Я. Козлитин, штурман майор В.Г. Самаль, бортинженер майор А.Е. Кожевников.

В течение одиннадцати лунных дней, а каждый длится 14,5 земных суток, «Луноход-1» выполнял запланированную программу. Суммарная длительность активного существования «Лунохода-1» составила 301 сутки 06 часов 37 минут.

В ознаменование 40-летия окончания миссии «Луноход-1», важного этапа советской лунной программы, Международный астрономический союз 15 июня 2012 года принял решение об утверждении названий кратеров, расположенных по маршруту «Лунохода-1», в честь членов экипажа лунохода. Эти кратеры невелики, от 100 до 400 м в диаметре, и по правилам МАС для них были выбраны личные имена:

«Альберт» – Кожевников Альберт Евстафьевич (16.02.1934 – 05.01.2011)

«Валера» – Сапранов Валерий Михайлович

«Вася» – Чубукин Василий Иванович (01.05.1930 – 14.09.2011)

«Витя» – Самаль Викентий Григорьевич (01.03.1939 – 23.08.2015)

«Гена» – Латыпов Габдулхай Гимадутинович (08.02.1941 – 19.11.2008)

«Игорь» – Фёдоров Игорь Леонидович

«Коля» – Козлитин Николай Яковлевич (27.07.1935 – 10.05.2010)

«Костя» – Давидовский Константин Константинович (10.04.1937 – 05.11.2004)

«Леонид» – Мосензов Леонид Яковлевич (19.10.1935 – 04.11.1994)

«Николя» – Ерёменко Николай Михайлович (15.12.1937 – 25.05.1998)

«Слава» – Довгань Вячеслав Георгиевич

Создание и успешная работа «Лунохода-1» уже вошли в мировую историю развития науки и техники. Осуществив большую научную работу, первый в мире телеуправляемый луноход остался на Луне как памятник триумфу советской космонавтики.

Литература

1. Довгань В.Г. Лунная одиссея советской космонавтики // Идеи и новации. 2015. № 3. С. 41–59.

2. Довгань В.Г. «Сидячие космонавты» / записал А.И. Долинин // Красная Звезда. 2005. № 240, 27 дек. Прил. Военный космос.

3. Ивановский О.Г., Довгань В.Г., Долинин А.И. Луноход и люди. 50-летию отечественной лунной программы посвящается // Неделя Подмосковья. 2008. № 21–29.

4. История Командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами от истоков до Главного испытательного центра имени Г.С. Титова. Кн. 1. Общий очерк. М.: Контакт-РЛ, 2006. 480 с.

5. Маров М.Я. Славные страницы истории // Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина». 2010. № 4. С. 27–32.

6. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М.: Наука, 1971. Т. 1. 128 с.

7. Петров Ю.А. Психологические проблемы дистанционного управления // Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М.: Наука, 1978. Т. 2. 184 с.

8. Поляков Л.Н. О системе управления и практике дистанционного вождения «Лунохода-1» // Планетоходы, космическая робототехника и наземные роверы для экстремальных условий: материалы первого, второго и третьего междунар. семинаров. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 332 с.

9. Селиванов А.С. Очерки истории и техники космического телевидения. Воспоминания разработчика. М.: Медия Паблишер, 2010. 192 с.

References

1. Dovgan V.G. *Lunnaya odisseya sovetskoi kosmonavtiki* [Lunar Odyssey of Soviet cosmonautics]. *Ideas and innovations*, 2015, no. 3, pp. 41–59.

2. Dovgan V.G. *«Sidyachie kosmonavty»* [«Sedentary astronauts»]. *Krasnaya Zvezda*, 2005, no. 240, Dec. 27. Pril. Voennyi kosmos.

3. Ivanovskii O.G., Dovgan' V.G., Dolinin A.I. *Lunokhod i lyudi. 50-letiyu ote-chestvennoi lunnoi programmy posvyashchaetsya* [Rover people. 50-year anniversary of the patriotic Lunar programs dedicated to]. *Nedelya Podmoskov'ya*, 2008, no. 21–29.

4. *Istoriya Komandno-izmeritel'nogo kompleksa upravleniya kosmicheskimi appa-ratami ot istokov do Glavnogo ispytatel'nogo tsentra imeni G.S. Titova. Kn. 1. Obshchii ocherk* [History command and measuring complex spacecraft control from its origins to the Chief test center name G.s. Titova. Book 1. General essay]. Moscow, Kontakt-RL Publ., 2006, 480 p.

5. Marov M.Ya. *Slavnye stranitsy istorii* [Glorious history]. *Vestnik «NPO im. S.A. Lavochkina»*, 2010, no. 4, pp. 27–32.

6. *Peredvizhnaya laboratoriya na Lune «Lunokhod-1»* [Mobile laboratory on the Moon «Lunokhod-1»]. Moscow, Nauka Publ., 1971, vol. 1, 128 p.

7. Petrov Yu.A. *Psikhologicheskie problemy distantsionnogo upravleniya* [Psychological problems of remote control]. In: *Peredvizhnaya laboratoriya na Lune «Lunokhod-1»* [Mobile laboratory on the Moon «Lunokhod-1»]. Moscow, Nauka Publ., 1978, vol. 2, 184 p.

8. Polyakov L.N. *O sisteme upravleniya i praktike distantsionnogo vozhdeniya «Lunokhoda-1»* [On the management system and practice of remote driving «Lunokhod-1»]. In: *Planetokhody, kosmicheskaya robototekhnika i nazemnye rovery dlya ekstremal'nykh uslovii: materialy pervogo, vtorogo i tret'ego mezhdunar. Seminarov* [Proc. of the 1st, 2nd and 3rd Int. Seminars' «Planetary Rovers, space robotics and ground Rovers for extreme conditions»]. St. Petersburg, 2006, 332 p.

9. Selivanov A.S. *Ocherki istorii i tekhniki kosmicheskogo televideniya*. *Vospo-minaniya razrabotchika* [Essays on the history and technology of space television. Memories of the developer]. Moscow, Mediya Pablisher Publ., 2010, 192 p.

Информация об авторе / Information about the author

Довгань Вячеслав Георгиевич
доктор технических наук, профессор,
Российская инженерная академия
(*125009, г. Москва, Газетный пер., дом 9, стр. 4*)
info-rae@mail.ru

Vyacheslav G. Dovgan
Doctor of Technical sciences, Professor,
Russian Academy of Engineering
(*bldg. 4, 9 Gazetny lane, Moscow, 125009 Russia*)
info-rae@mail.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 629.785:523.3

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЁТОВ К ЛУНЕ

А.И. Кондрат, А.А. Митина, Г.Д. Орешкин, А.И. Шуров

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина», г. Звездный, Россия

Резюме: *В настоящее время задача освоения Луны присутствует во многих программах освоения космического пространства ведущих космических держав. Существующие подходы к решению этой задачи предусматривают использование как автоматических, так и пилотируемых космических аппаратов (ПКА).*

Очевидно, что для достижения целей освоения Луны необходим разумный компромисс между полетами автоматических и пилотируемых космических аппаратов.

В связи с этим представляется актуальным на основе результатов анализа астрономических методов навигации, разработанных для использования в пилотируемых космических полетах, рассмотреть возможности космонавта (экипажа) по решению задач астронавигации в системе навигации ПКА, определить его место и роль в процессе визуального поиска и опознания навигационных ориентиров, оценить условия и возможности применения космонавтом астрономических средств навигации при полете на Луну, провести анализ характеристик взаимодействия в системе «астроприбор-оператор» и предложить подходы к подготовке оператора к выполнению основных задач астронавигации. Это может быть учтено также при решении вопроса о создании и разработке предложений по использованию ручного (автоматизированного) резервного контура управления как двигателями ориентации ПКА, так и маневровыми двигателями при полете к Луне.

В статье рассматриваются возможности решения космонавтом (экипажем) навигационных задач с применением астронавигационных приборов при полете к Луне, а также предложения по подготовке космонавтов к выполнению этих задач.

Ключевые слова: *астрономические методы навигации, пилотируемые полёты к Луне, пилотируемые космические аппараты (ПКА).*

Для цитирования: *Кондрат А.И., Митина А.А., Орешкин Г.Д., Шуров А.И. О возможности применения астрономических методов навигации для обеспечения пилотируемых полётов к Луне // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 46–50.*

ON THE POSSIBILITY OF USING ASTRONOMICAL NAVIGATION METHODS FOR IMPLEMENTING MANNED FLIGHTS TO THE MOON

A.I. Kondrat, A.A. Mitina, G.D. Oreshkin, A.I. Shurov

State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center», Zviozdny Gorodok (Star City), Russia

Abstract: *At present, the task of Moon exploration is part of many outer space exploration programs adopted by the leading space powers. The existing approaches to meeting this challenge are based on the use of both automatic and piloted space vehicles (PSV).*

The implementation of a manned interplanetary flight involves a high degree of automatization of all its stages. However, as a reserve option, it is necessary to envision the possibility of the crew's immediate participation in achieving navigation tasks on board the spacecraft. In other words, for the purpose of lunar exploration, a reasonable balance is needed between automatic and PSV space flights.

Apparently, dealing with navigation tasks on board, at a far distance from the Earth, is one of the most difficult issues in the operation of a space vehicle. The effective work of the PSV crew is critical for the successful implementation of the following interplanetary flight stages:

- determination of deviations of the flight orbit to the planet and return orbit to Earth from set orbits at a considerable distance from Earth, and their correction;

- switch from the flight orbit to the planet to the flight orbit around the planet;

- determination of the PSV's position in the planet's orbit with the purpose of identifying the landing point;

- take-off from the planet surface;

- switch from the flight orbit around the planet to the return orbit to Earth.

The need to implement these stages leads to higher requirements for the crew's readiness to address navigation tasks. Therefore, cosmonaut training should reach a level allowing the crew to address a wide range of such tasks specific to interplanetary flights at a considerable distance from Earth-based tracking points. This, in turn, calls for the generation of conditions for ground training in the use of astronavigational means of PSV navigation which will simulate spaceflight conditions as much as possible.

In this regard, it seems practicable to use the results of the analysis of astronomical navigation methods developed for use in manned space flights for investigating the possibilities for the cosmonaut (or space crew) to deal with astronavigation tasks in the navigation system of a piloted space vehicle, to determine its place and role in the process of visual search and identification of navigation guides, to assess the conditions and opportunities for the cosmonaut to use astronomical navigation means in a flight to the Moon, to conduct analy-

sis of characteristics of interaction in the astrotool-operator system and to propose approaches to training the operator in implementing the main astronavigation tasks. This can also be taken into consideration when resolving the issue of creating and further developing proposals on the use of manual (automated) reserve contour for operating both PSV orientation engines and maneuvering thrusters in flights to the Moon.

The authors analyze the possibilities for the cosmonaut (crew) to tackle navigation tasks with the use of astronavigation tools in lunar flights and put forward proposals regarding the training of cosmonauts for implementing these tasks.

Key words: *astronomy navigation methods, manned flights to the Moon, piloted space vehicles.*

For citations: *Kondrat A.I., Mitina A.A., Oreshkin G.D., Shurov A.I. On the Possibility of Using Astronomical Navigation Methods for Implementing Manned Flights to the Moon. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 46–50.*

В настоящее время задача освоения Луны присутствует во многих программах освоения космического пространства ведущих космических держав. Существующие подходы к решению этой задачи предусматривают использование как автоматических, так и пилотируемых космических аппаратов (ПКА).

Очевидно, что для достижения целей освоения Луны необходим разумный компромисс между полетами автоматических и пилотируемых космических аппаратов.

Реализация пилотируемого межпланетного полёта предполагает высокую степень автоматизации всех его этапов. Тем не менее в качестве резерва необходимо предусмотреть возможность непосредственного участия экипажа в решении задач навигации на борту, то есть меняются подходы к решению проблемы человек-техника при создании навигационных систем управления пилотируемыми космическими полетами.

Бесспорно, что решение задач навигации непосредственно на борту – одно из самых сложных, что связано с управлением космическим аппаратом. Необходимо учитывать, что при решении задач навигации на борту на большом расстоянии от Земли космонавт будет принимать в них непосредственное участие, что, в свою очередь, приводит к повышению требований к уровню подготовленности экипажа к решению навигационных задач.

От эффективности работы экипажа ПКА во многом зависит успешность выполнения следующих этапов межпланетного перелета:

- определение отклонений орбиты полёта к планете и орбиты возврата к Земле от заданных орбит на значительном удалении от Земли и их коррекция при необходимости;
- переход с орбиты достижения планеты на орбиту полёта вокруг планеты;
- определение положения ПКА на орбите с целью определения точки посадки на планету;
- старт с поверхности планеты;
- переход с орбиты полёта вокруг планеты на орбиту возврата к Земле.

В этих условиях подготовка космонавтов должна достигать такого уровня, который позволит экипажу решать большой круг навигационных задач, обеспечивающих межпланетный полёт, на значительном удалении от наземных пунктов слежения.

Что, в свою очередь, требует создания на Земле условий подготовки по применению астронавигационных средств навигации ПКА, максимально приближенных к условиям космического полёта. Выполнение этого требования направлено на улучшение условий работы космонавтов в космическом полёте и обеспечение безопасности их труда. От успешного решения навигационных задач на значительном удалении от Земли может зависеть возможность возвращения экипажа на Землю.

В связи с этим представляется актуальным на основе результатов анализа астрономических методов навигации, разработанных для использования в пилотируемых космических полетах, рассмотреть возможности космонавта (экипажа) по решению задач астронавигации в системе навигации ПКА.

В настоящее время из астрономических приборов навигации и ориентации для коррекции положения в пространстве Международной космической станции (МКС) в штатном режиме используются «Пума» и ВП-2 (визир-пилота).

Для обеспечения решения навигационных задач пилотируемых космических полетов были разработаны астрономические средства, реализующие позиционный астрономический метод определения долготы и широты ПКА. Существует две разновидности этого метода:

- позиционный метод определения координат места посадки экипажа ПКА по измерениям высот двух светил относительно истинного горизонта предназначался для использования в нештатных ситуациях;
- позиционный астрономический метод определения навигационных параметров ПКА по измерениям высот светил относительно видимого горизонта Луны и Земли (в программах полёта Л-1 и Л-3, предусматривающих облёт и посадку ПКА на Луну).

При измерении высот светил относительно истинного горизонта поверхностью положения ПКА является конус, своей вершиной совпадающий с центром Земли. В случае измерения высот светил относительно видимого горизонта поверхностью положения ПКА будет также конус, но его вершина будет лежать на линии, соединяющей центр Земли (Луны) с направлением на светило, что позволяет определить не только сферические координаты положения ПКА в пространстве, но и величину его радиус-вектора. Для решения этих задач необходимо было выполнить не менее четырёх измерений. Среднеквадратическая погрешность определения места положения ПКА не превышает 10 км при удалении от центра Земли на расстояние 300 000 км. На таком большом удалении угловая скорость движения ПКА составляла несколько угловых секунд за минуту времени. В этих условиях при измерении высот светил к интервалам времени между измерениями не предъявляется таких высоких требований, как в условиях приземного космического полёта на высотах менее 500 км, где этот метод не может быть использован из-за больших угловых скоростей движения ПКА (4°/мин) и жёстких требований к интервалам между навигационными измерениями.

В приземном полёте ПКА для решения навигационных задач может найти применение скоростной астрономический метод, суть которого заключается в том, что по изменениям горизонтальных координат светил в полёте вычисляются сферические координаты ПКА.

В настоящее время астрономические оптико-визуальные средства используются для ориентации пилотируемых космических аппаратов в пространстве. В этих средствах реализуются следующие методы астрономической трёхосной ориентации ПКА:

- сравнительный метод;
- метод пеленгации светил одной плоскостью;
- метод пеленгации светил не «связанными» между собой взаимно-перпендикулярными плоскостями;
- метод пеленгации светил «связанными» между собой взаимно-перпендикулярными плоскостями.

Определение места и роли в процессе визуального поиска и опознания навигационных ориентиров, оценка условий и возможности применения космонавтом астрономических средств навигации при полёте на Луну возможны исходя из реализуемой траектории межпланетного перелета.

Луна может рассматриваться как конечная цель межпланетного перелета, а также в качестве стартовой площадки для осуществления полета к другим планетам, расположенным значительно дальше.

Траектория полета ПКА к Луне определяется величиной начальной скорости: эллипс, парабола, гипербола и прямая линия. Она может лежать в плоскости орбиты Луны или составлять с ней некоторый угол.

При выборе траектории учитывают величину начальной скорости и время полета. Увеличение минимальной скорости полета в исходной точке на 0,05 км/с вдвое сокращает продолжительность перелета. При скорости полета, близкой к параболической скорости, равной 11,0 км/с, продолжительность полета равна двум суткам. При скорости, равной 11,5 км/с, продолжительность полета равна одним суткам.

При фиксированном значении угла траектории полёта ПКА по мере увеличения начальной

скорости полета траектория движения ПКА стремится к прямой линии, а угловая дальность движения – уменьшается, а траектории движения ПКА с большими дальностями обладают меньшими энергиями, следовательно, и меньшими начальными скоростями.

Полет космических аппаратов, стартующих с поверхности Земли, в плоскости орбиты Луны возможен лишь в том случае, если космодром расположен в прилегающей к экватору зоне, занимающей диапазон широт $\Delta\varphi = \pm\varepsilon$ ($\varepsilon -$ наклонение плоскости орбиты Луны к экватору Земли).

Особенности выбора траектории полета к Луне через полюс Земли для случаев благоприятного и неблагоприятного пуска с космодромов, расположенных в северном полушарии Земли; определения промежутка времени, когда возможен полет к Луне с минимальными гравитационными потерями (при пуске космического аппарата в другое время требуется больше затрат энергии на преодоление гравитационных потерь).

Определение подходов к подготовке оператора к выполнению основных задач астронавигации в межпланетных перелётах следует выполнить исходя из того, что нельзя достичь полного понимания проблем космического полета до тех пор, пока космонавту не будут известны условия, в которых этот полет выполняется.

Особенности применения астрономических средств навигации в межпланетных перелётах должны учитывать условия наблюдения звёздного неба в космическом полёте, которые существенно отличаются от земных. С Земли за сутки возможно просмотреть только часть неба, если наблюдатель не находится на экваторе (с территории Звёздного городка в течение суток можно наблюдать 78% небесной сферы). В космическом полёте по мере возрастания высоты полёта ПКА возрастает и площадь небесной сферы, наблюдаемой в конкретный момент времени. С борта ПКА в течение витка наблюдается вся небесная сфера, и в окрестностях полюсов орбиты располагаются две области незаходящих светил.

Также следует учитывать условия освещенности межпланетного перелёта, которые значительно отличаются от околоземных орбит: межпланетный перелёт будет выполняться в условиях освещённости Солнцем и частично в тени от Земли и планет (Луны и Марса) в околоземном и околопланетном пространствах. Это обстоятельство накладывает ограничения на приборы, используемые для решения навигационных задач (они должны быть предназначены для работы в условиях освещённости Солнцем).

Двигаясь вместе с Землёй или с планетой вокруг Солнца, ПКА обращается по своей орбите, которая частично освещена и частично находится в тени. Причём условия освещённости орбиты ПКА изменяются с течением года в зависимости от положения Земли или планеты. Поскольку плоскости орбиты ПКА прецессирует, то в космическом полёте создаются такие условия, при которых Солнце может находиться в областях, не заходящих светил, расположенных в окрестностях полюсов орбиты ПКА, и плоскость орбиты ПКА будет освещена Солнцем полностью, значит, звёзды видны не будут. Следовательно, применять астрономические средства навигации, работающие только в ночных условиях, невозможно.

Изучение особенностей и условий применения астрономических средств навигации, условий освещенности орбиты ПКА в межпланетных перелётах и их траекторий, полученных в процессе подготовки, позволит лучше подготовить космонавтов к условиям космического полёта, что значительно улучшит условия работы космонавтов при выполнении навигационных задач в межпланетных перелётах, следовательно, повысит качество их выполнения.

Определение возможности места и роли космонавта (экипажа) по решению задач астронавигации в системе навигации ПКА, оценка условий применения космонавтом астрономических средств навигации при полете на Луну позволяют провести анализ характеристик взаимодействия в системе «астроприбор – оператор» и предложить подходы к подготовке оператора к выполнению основных задач астронавигации. Результаты этого анализа также могут быть полезны при создании и разработке предложений по использованию ручного (автоматизированного) резервного контура управления как двигателями ориентации ПКА, так и маневровыми двигателями при полете к Луне.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Литература

1. Митина А.А., Митин А.Т. Методы применения астрономических приборов навигации и ориентации в пилотируемых космических полетах // Гагаринский сборник: материалы XXXVIII общественно-научных чтений, посвященных памяти Ю.А. Гагарина. Гагарин, 2012.

2. Митина А.А. Некоторые вопросы развития и применения астрономических приборов ориентации пилотируемых космических аппаратов // Пилотируемые полеты в космос. 2011. № 2(2). С. 106–112.

3. Орешкин Г.Д., Митин А.Т., Митина А.А. К вопросу улучшения условий работы космонавтов при выполнении навигационно-баллистических задач // Психология труда, инженерная психология и эргономика (Эрго 2014): сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2014. С. 372–376.

4. Митин А.Т., Митина А.А. Из истории развития средств отображения навигационной обстановки и возможность использования опыта их применения в пилотируемом полете к Луне // Известия инженерных наук им. А.М. Прохорова. 2014. № 4. С. 12–18.

5. Митин А.Т., Митина А.А., Орешкин Г.Д. Возможности повышения точности решения задач навигации и ориентации при разработке перспективных пилотируемых космических комплексов // Космонавтика XXI века: материалы науч.-практ. конф. / ЦНИИмаш (29-30 ноября 2016). Королёв, 2016.

References

1. Mitina A.A., Mitin A.T. *Metody primeneniya astronomicheskikh priborov navigatsii i orientatsii v pilotiruemykh kosmicheskikh poletakh* [Methods of use of astronomical instruments of navigation and orientation in manned space flight]. In: *Gagarinskii sbornik: materialy XXXVIII obshchestvenno-nauchnykh chtenii, posvyashchennykh pamyati Yu.A. Gagarina* [Proc. of 38th Socio-Scientific Readings dedicated to the memory of Yuri Gagarin «Gagarin collection»]. Gagarin, 2012.

2. Mitina A.A. *Nekotorye voprosy razvitiya i primeneniya astronomicheskikh priborov orientatsii pilotiruemykh kosmicheskikh apparatov* [Some issues of the development and use of astronomical devices orientation of manned spacecraft]. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2011, no. 2(2), pp. 106–112.

3. Oreshkin G.D., Mitin A.T., Mitina A.A. *K voprosu uluchsheniya uslovii raboty kosmonavtov pri vypolnenii navigatsionno-ballisticheskikh zadach* [To the question of improving the working conditions of the astronauts when performing navigation and ballistic tasks]. In: *Psikhologiya truda, inzhenernaya psikhologiya i ergonomika (Ergo 2014): sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf*. [Proc. of Int. Sci. Conf. «Labour psychology, engineering psychology and ergonomics»]. St. Petersburg, 2014, pp. 372–376.

4. Mitin A.T., Mitina A.A. *Iz istorii razvitiya sredstv otobrazheniya navigatsionnoi obstanovki i vozmozhnost' ispol'zovaniya opyta ikh primeneniya v pilotiruemom polete k Lune* [From the history of the development of navigational display and the ability to use the experience of their use in manned flight to the Moon]. *Izvestiya inzhenernykh nauk im. A.M. Prokhorova*, 2014, no. 4, pp. 12–18.

5. Mitin A.T., Mitina A.A., Oreshkin G.D. *Vozmozhnosti povysheniya tochnosti resheniya zadach navigatsii i orientatsii pri razrabotke perspektivnykh pilotiruemykh kosmicheskikh kompleksov* [Opportunities to improve the accuracy of the solution of tasks of navigation and orientation in the development of promising manned space complexes]. *Kosmonavtika XXI veka: materialy nauch.-prakt. konf.* (TsNIImash, 29-30 noyabrya 2016) [Proc. of Sci. Conf. «Space activities of the 21st century»]. Korolev, 2016.

Информация об авторах / Information about the authors

Кондрат Андрей Иванович
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Митина Антонина Алексеевна
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)
A.Mitina@gctc.ru

Орешкин Геннадий Дмитриевич
кандидат технических наук, доцент,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Шуров Александр Иванович
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
A.Shurov@gctc.ru

Andrey I. Kondrat
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Antonina A. Mitina
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
A.Mitina@gctc.ru

Gennadiy D. Oreshkin
Candidate of Technical Sciences,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Aleksandr I. Shurov
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
A.Shurov@gctc.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 629.785:523.3

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ЭКИПАЖА И РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ НА ЛУНУ

А.Г. Милованов[1], **С.Е. Пугаченко**[2]

[1] *Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, Москва, Россия*
[2] *Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева, Москва, Россия*

Резюме: *Планы участия человека в дальнейшем освоении космического пространства за пределами низких околоземных орбит неоднократно провозглашались представителями стран-участниц космической деятельности. При этом отмечается ключевая роль человека в проведении комплексных исследований ближайших объектов Солнечной системы и изучении влияния воздействия окружающей среды за пределами магнитосферы Земли на человеческий организм.*

Пребывание человека в космосе связано с существенными затратами, которые тем больше, чем длительнее и удалённее экспедиции и чем больше численность экипажа. Целью исследования явилось обоснование рациональной численности экипажа и режимов его работы в различных сценариях пилотируемых экспедиций на Луну.

В качестве основного критерия правильности выбора приняты экономические затраты на лунную программу. Численность экипажа определяется требованиями к его работе в составе экспедиции. Во внимание приняты требования по работе экипажа с целевой нагрузкой и обслуживанию бортовых систем в герметичных отсеках. Также учитывались затраты времени экипажа на внекорабельную деятельность, степень механизации и роботизации орбитальных операций в открытом космосе и другие факторы. В качестве ограничений принимались удельный объем обитания экипажа, условия внекорабельной деятельности и требования по безопасности.

Исследование проведено с использованием метода системного анализа, в основе которого лежит создание многоуровневой математической модели лунного пилотируемого космического комплекса. В ходе моделирования математически выражены зависимости параметров системы обеспечения жизнедеятельности, грузопотока запасов обеспечения жизнедеятельности экипажа и других параметров бортовых систем от численности экипажа. Грузопоток сменного оборудования обеспечения выхода экипажа существенно зависит от участия экипажа в операциях в открытом космосе. Применение робототехнических средств снижает продолжительность внекорабельной деятельности экипажа, но повышает потребности в генерировании электроэнергии. Это, в свою очередь, увеличивает грузопоток ресурсного оборудования систем энергоснабжения, обеспечения тепловых режимов и самих робототехнических средств. В вычислениях использованы статистические числовые значения удельных параметров, полученные из опыта полётов орбитальных станций «Мир» и МКС. В качестве прототипов долговременных элементов лунного пилотируемого космического комплекса приняты обсуждаемые в настоящее время международная станция Deep Space Gateway и полярная лунная база.

Представлены результаты исследования, отражающие закономерности выбора численности экипажа и режимов его работы в зависимости от задач экспедиции и условий её поведения. На затраты по лунной программе в основном влияют расходы на транспортировку экипажа и грузов. Полученные результаты могут быть использованы как на этапе выбора конфигурации лунной инфраструктуры, так и при планировании отдельных экспедиций.

Ключевые слова*: освоение космического пространства, космическая деятельность, пилотируемая экспедиция на Луну.*

Для цитирования: *Милованов А.Г., Пугаченко С.Е. Обоснование рациональной численности экипажа и режимов его работы в различных сценариях пилотируемых экспедиций на Луну // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 51–57.*

A RATIONAL JUSTIFICATION OF APPROPRIATE CREW SIZE AND WORK REGIMES IN DIFFERENT SCENARIOS OF MANNED MISSIONS TO THE MOON

A.G. Milovanov[1], **S.E. Pugachenko**[2]

[1] *State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russia*
[2] *Khrunichev State Research and Production Space Center, Moscow, Russia*

Abstract: *Plans for human participation in further outer space exploration beyond low-Earth orbit have been repeatedly publicized by the countries taking part in space activities. These statements emphasize the key human role in the implementation of comprehensive studies of the nearest objects of the Solar system and in the investigation of the impact of the environment beyond the Earth's magnetosphere on the human organism.*

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Human stays in outer space are associated with considerable costs which increase proportionately to the duration of the expedition, the distance it covers in space, and the size of the mission crew. The goal of the present study is a rational justification of appropriate crew size and work regimes in different scenarios of manned missions to the Moon.

The economic costs of the Moon exploration program are accepted as the main criterion of the right choice. The size of the crew is determined by the requirements for the latter's activities during the mission. The requirements for the crew members' work with target loads and maintenance of onboard systems in hermetic compartments are taken into consideration. Similar consideration is given to the time spent on the crew's extravehicular activity, the degree of mechanization and robotization of on-orbit operations in outer space, and other factors. The crew's specific living space, conditions of extravehicular activity, and safety regulations are accepted as limitations.

The study was carried out with the use of the method of systems analysis which is based on the creation of a multi-level mathematical model of a lunar manned space complex. In the course of modeling, mathematical expressions were given to the dependencies of parameters of the life support system, cargo flow of supplies for crew life support, and other parameters of onboard systems on the number of crew members. It was shown that the cargo flow of replacement equipment providing for space- and moonwalks performed by the crew significantly depends on the crew members' participation in outer space operations.

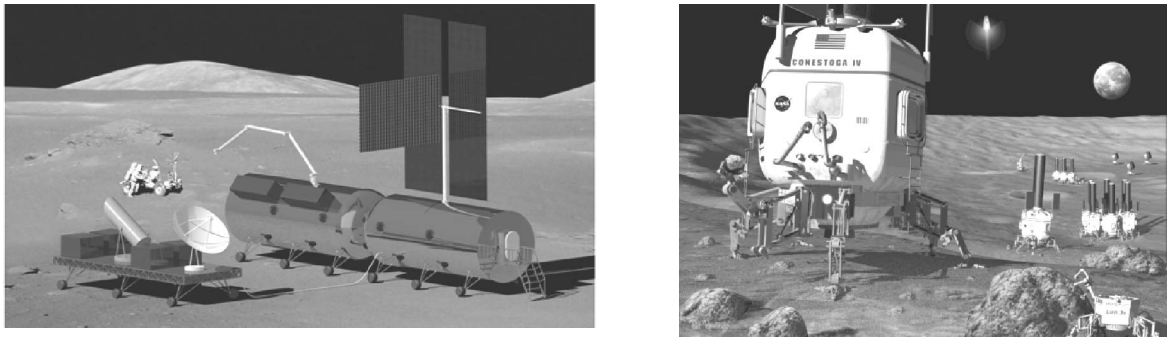
The application of robotic devices reduces the duration of the crew's extravehicular activity but increases the demand for electric power generation. This, in turn, increases the cargo flow of resource equipment for power supply systems, thermal regimes, and robots themselves. The calculations were made with the use of statistical numerical values of unit parameters obtained from the experience of the flights performed by the "Mir" and ISS orbital space stations. The currently discussed Deep Space Gateway international station and the polar lunar base were accepted as prototypes of long-term elements of the lunar manned space complex.

The authors present their research results which reflect the patterns of choice with respect to the crew count and work regimes depending on the mission's goals and conditions of operation. The Moon exploration program costs are mostly influenced by the costs of crew and cargo transportation. The obtained results can be used at the stage of decision making regarding the lunar infrastructure configuration, as well as in the planning of specific missions.

Key words: *outer space exploration; outer space activities; manned Moon expedition*

For citations: *Milovanov A.G., Pugachenko S.E. A Rational Justification of Appropriate Crew Size and Work Regimes in Different Scenarios of Manned Missions to the Moon. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 51–57.*

Планы участия человека в дальнейшем освоении космического пространства за пределами низких околоземных орбит неоднократно подтверждалась представителями стран-участниц космической деятельности [4]. При этом отмечается ключевая роль человека в проведении комплексных детальных исследований ближайших объектов Солнечной системы и изучении влияния воздействия окружающей среды за пределами магнитосферы Земли на человеческий организм. Одним из основных сценариев является создание обитаемой лунной базы на поверхности Луны (рис. 1). Участие человека в регулярных экспедициях на Луну станет важным шагом в проникновении человека за пределы низких околоземных орбит.



а *б*

Рис. 1. Проекты обитаемых баз на поверхности Луны:
а – проект посещаемой лунной базы разработки ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (2007);
б – проект мобильной лунной базы для геологической разведки Луны

Fig. 1. Projects of manned bases on the surface of the Moon:
a) projects of a lunar base for space visits designed
by the Khrunichev State Research and Production Space Center;
b) a project of a mobile lunar base for the geological exploration of the Moon

На начальных этапах развития лунной пилотируемой инфраструктуры (ЛПИ) работа будет в значительной степени зависеть от снабжения с Земли. Выбор числа и режима пребывания космонавтов на Луне будет оказывать решающее влияние на затраты программы [1].

Целью настоящего исследования является обоснование рациональной численности экипажа и режимов его работы в различных сценариях пилотируемых экспедиций на Луну. Исследование является развитием работ, проведённых ранее по Федеральной космической программе РФ.

В [1] дан всесторонний обзор проблем, связанных с полётами на Луну. Приведён обобщенный перечень задач, стоящих перед экипажами Лунных экспедиций:

1. Исследование Луны как космического тела, изучение её природных ресурсов и возможности их использования в интересах человека. Сбор, первичный анализ и отправка на Землю проб лунного грунта.

2. Участие в проведении фундаментальных исследований Вселенной, астрономических наблюдений дальнего космоса.

3. Медико-биологические исследования влияния факторов космического пространства на организм человека.

4. Отработка космической техники, подготовка технических средств экипажей для использования в экспедициях на планеты и астероиды.

5. Погрузочно-разгрузочные, монтажные и пуско-наладочные работы по развёртыванию, наращиванию и поддержанию инфраструктуры на поверхности Луны.

Более ранние исследования определяют конкретную задачу экипажа лунной экспедиции как проведение разведки полезных ископаемых, составление карт химического состава лунных пород [3, 5 и др.]. В них приведены данные о затратах рабочего времени экипажа на операции в ходе экспедиций.

В настоящем исследовании были приняты этапы развития лунной программы, изложенные ранее в [1]:

- начальные исследования, масса целевой нагрузки (геологического оборудования): $M_{ЦН}$ = 5…18 т;
- расширенные исследования, $M_{ЦН}$ = 65 т;
- полномасштабные исследования, $M_{ЦН}$ = 265 т.

Состав оборудования, которое может быть включено в состав Лунной базы на различных этапах, приведён в таблице [6].

В ходе настоящего исследования были также приняты следующие допущения и ограничения.

Геологические исследования Луны включают следующие операции: сбор образцов; транспортировка образцов по лунной поверхности к лунной базе; предварительные лабораторные исследования образцов в условиях лунной базы; отбор образцов для проведения исследований в земных лабораториях; транспортировка образцов на Землю (груз возвращения).

Состав геологического оборудования лунной базы

№	Наименование оборудования	Масса, кг	Объем, $м^3$	Потребляемая мощность, Вт	Краткое описание
1	Оборудование для взятия образцов	336	1,8	500	Комплект ручных инструментов для сбора, документирования, хранения и транспортировки геологических образцов
2	Оборудование для геофизического мониторинга	216	0,5	96	Комплект инструментов для проведения исследований структуры, состава и эволюции внутренних слоев Луны.
3	Оборудование для изучения подповерхностных структур	401	не определен (> 0,1)	100	Комплект геофизических инструментов, устанавливающихся в разных точках лунной поверхности для изучения подповерхностных слоев.
4	Геологические лабораторные инструменты	46	0,1	181	Комплекты приборов для проведения предварительных лабораторных исследований образцов
5		123	0,2	396	
6	10-метровый бур	263	0,1	6120	Основной инструмент для геологических и геотехнических исследований
7	1-километровый бур	20000	200	500000	Бур, по конструкции сходный с наземными нефтяными бурами

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Предварительные лабораторные исследования образцов в условиях лунной базы и отбор образцов для проведения исследований в земных лабораториях являются основными задачами экипажей лунных экспедиций.

В состав Лунной базы входят механические и робототехнические средства проведения геологических исследований Луны. Применение этих средств позволяет сократить численность экипажа лунных экспедиций и повысить безопасность экспедиций. Возможности лабораторных исследований образцов в условиях лунной базы значительно уменьшаются без участия экипажа.

Снабжение экипажа кислородом и водой осуществляется в результате транспортировки с Земли и использования регенерационных установок со степенью регенерации 0,9…0,95. На более поздних этапах экипаж обеспечивается кислородом и водой за счёт лунных ресурсов [5].

Оценка требуемого рабочего времени экипажа проведена с использованием удельных показателей затрат рабочего времени. Числовые значения показателей определены с учётом статистических данных о работе экипажей экспедиций орбитальных станций «Мир» и МКС.

Факторы, учитываемые при определении численности и режима пребывания экипажа лунной базы:

1. Время пребывания экипажа на борту, необходимое для выполнения задач экспедиций в рамках лунной пилотируемой программы $T_{треб.}$

2. Степень механизации и роботизации деятельности членов экипажа экспедиций на поверхности Луны $\xi_{м.р} = T_{э_м.р} / T_{э}$, где $T_{э_м.р}$ – время экипажа, затрачиваемое на орбитальные операции с учётом механизации и роботизации; $T_{э}$ – время, затрачиваемое на орбитальные операции без механизации и роботизации.

3. Требования по безопасности лунных экспедиций.

Принятая структура времени пребывания экипажа на борту приведена на рис. 2.

В исследовании принята четырёхпусковая схема полёта на Луну. В ней сборка лунных экспедиционных комплексов в составе транспортный пилотируемый корабль (ТПК) + межорбитальный буксир (МОБ) и посадочно-взлётный корабль (ПВК) + МОБ производится на низкой околоземной орбите. Средствами МОБ связка переходит на отлётную траекторию к Луне. При подлёте к орбите искусственного спутника Луны (ОИСЛ) происходят отделение МОБ и его утилизация на поверхность Луны. Корабли осуществляют стыковку к лунной орбитальной станции для перехода экипажа из ТПК в ПВК. С помощью ПВК экипаж и грузы доставляются на поверхность Луны. После завершения экспедиции экипаж в составе взлётной ступени стартует с поверхности Луны, выполняет стыковку к орбитальной станции и переходит в ТПК для последующего возвращения на Землю.

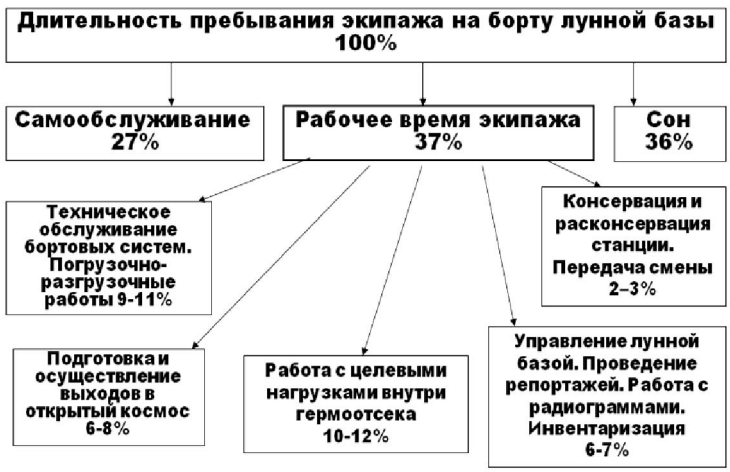


Рис. 2. Структура рабочего времени экипажа
(Fig. 2. The structure of the crew's working time)

Исследование проведено с использованием методов системного анализа, в основе которого лежит создание многоуровневой математической модели ЛПИ. В её состав входят подмодели 1-го уровня, описывающие орбитальные средства и средства выведения, и 2-го уровня, представляющие модели конструкции и бортовых систем. Проводится расчёт затрат топлива в орбитальном полёте, времени и численности экипажа, грузопотока, программы запусков и технико-экономических показателей. Экономические затраты на программу приняты в качестве критерия рациональности.

Зависимость численности экипажа от этапа изучения и освоения Луны для различных значений степени механизации и роботизации операций на Луне представлена на рис. 4.

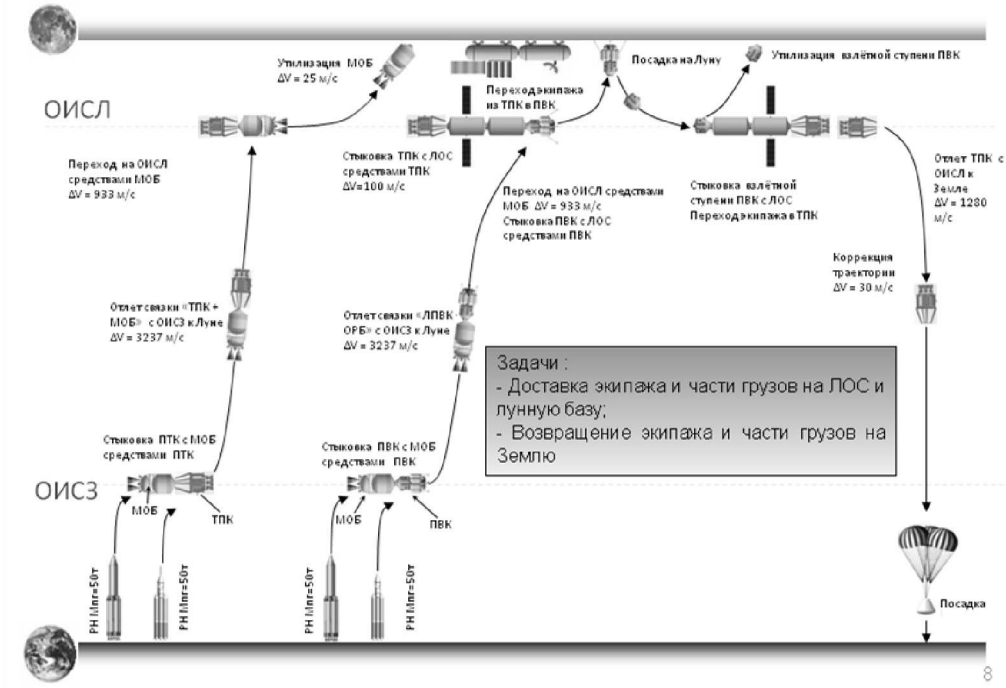


Рис. 3. Схема полёта на Луну

(Fig. 3. The scheme of a moon flight)

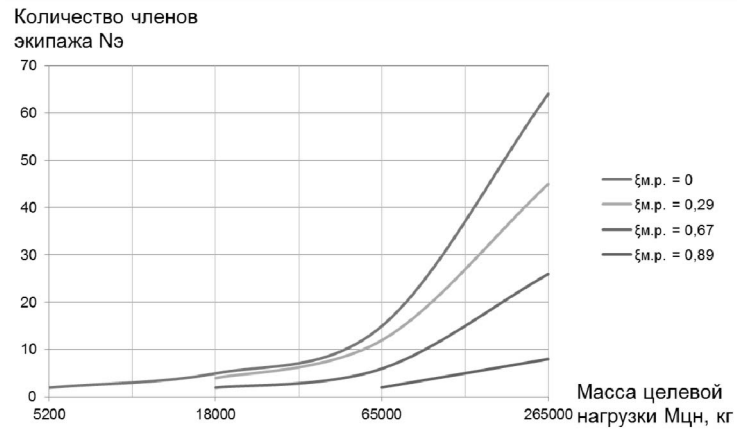


Рис. 4. Зависимость численности экипажа от этапа изучения и освоения Луны для различных значений степени механизации и роботизации операций на Луне

(Fig. 4. The dependence of the crew size on the stage of exploration and development of the Moon, for various values of the degree of mechanization and robotization of lunar operations)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Из неё следует, что необходима значительная, до 70 … 90%, степень механизации и роботизации операций для приведения численности экипажа лунной базы к значениям от 2…4 на начальных этапах до 8…24 на этапе расширенной исследовательской программы.

Масса геологических образцов, получаемых в результате сбора на поверхности и в подповерхностных слоях Луны, составляет 15 и более тонн в год. Принято, что предварительные лабораторные исследования образцов экипажем позволят уменьшить массу транспортируемых на Землю образцов в 10 раз. Затраты на ЛПИ снижаются при повышении степени механизации и роботизации $\xi_{м.р}$ в результате сокращения численности экипажа и уменьшения грузопотока расходуемых запасов обеспечения жизнедеятельности.

Приближение показателя $\xi_{м.р}$ к единице (приближение к полной автоматизация операций на Луне) означает отсутствие постоянного экипажа базы и соответствующих предварительных лабораторных исследований образцов. При этом для достижения целей ЛПИ по геологической разведке Луны потребуется большое число транспортных кораблей для доставки образцов с Луны на Землю для исследований. Таким образом, затраты на обеспечение жизнедеятельности экипажа сводятся к минимуму, но существенно возрастают затраты на транспортные операции, что отражено на рис. 5.

Полученные результаты могут быть использованы как на этапе выбора конфигурации лунной пилотируемой инфраструктуры, так и при планировании отдельных экспедиций.

Выводы

1. Рассмотрены зависимости числа членов экипажа лунной экспедиции от массы геологического оборудования и степени механизации и роботизации операций на Луне. Зависимости получены в результате комплексного математического моделирования лунной инфраструктуры

2. Затраты на программу исследований природных ресурсов Луны в значительной степени зависят от числа членов экипажа. Уменьшение затрат на программу исследований Луны достигается за счёт повышения степени механизации и роботизации операций на Луне.

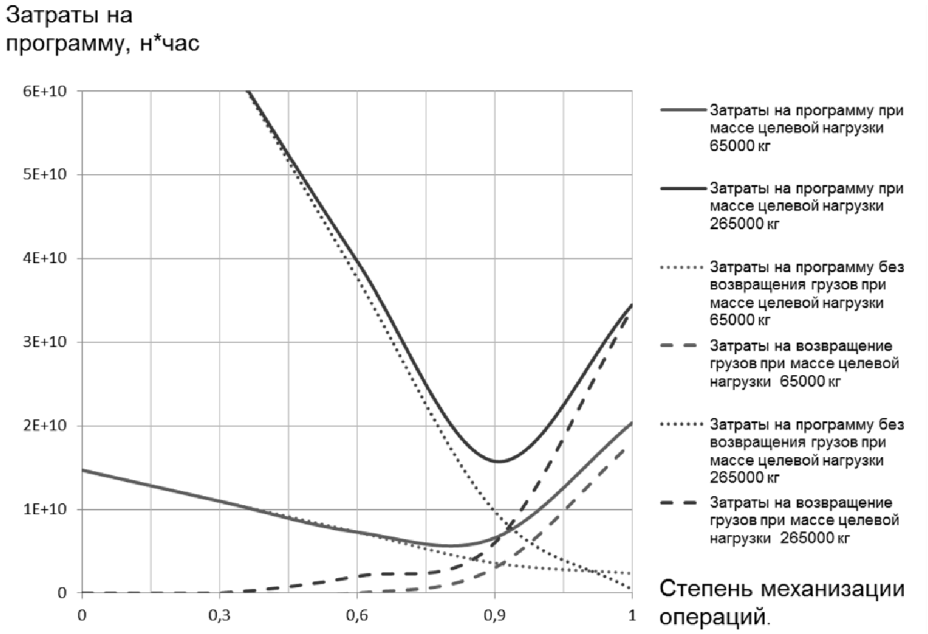


Рис. 5. Зависимость затрат на программу ЛПИ от степени механизации и роботизации операций на поверхности Луны для различных сценариев

(Fig. 5. The dependence of the Lunar Manned Infrastructure program costs on the degree of mechanization and robotization of operations on the lunar surface for different scenarios)

3. Рассмотрены затраты при полной автоматизации операций по геологическим исследованиям Луны без участия экипажа. Предварительные лабораторные исследования в условиях лунной базы ограничены. Необходимость проведения лабораторных исследований образцов на Земле приводит к существенному повышению грузопотока возвращения и затрат на программу в целом. Рациональное число членов экипажа определяется потребностями в проведении экипажем предварительного лабораторного анализа геологических образцов в условиях лунной базы и отбора образцов для транспортировки на Землю для дальнейшего исследования.

Литература

1. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / под науч. ред. В.П. Легостаева и В.А. Лопоты. М.: РКК «Энергия», 2011.

2. Bakhvalov Y.O., Pougachenko S.E., Shaevich S.K. Usage of Low Earth Stations logistics experience for Lunar Inhabited Settlements. Proc. of 62nd Int. Astronautical Congress (3-7 October 2011). CapeTown, SouthAfrica, 2011.

3. Dudley-Rowley M., Gandale T., Lemke L., Cohen M. Habot Lunar Crew Size, Skill Mix, and Time Model. SAE Int., 2005. Available at: https://www.researchgate.net/publication/228346576_Habot_Lunar_Crew_Size_Skill_Mix_and_Time_Model. DOI: 10.4271/2005-01-2792.

4. Hufenbach B., Laurini K., Satoh N., Lange C., Martinez R., Hill J., Landgraf M., A. Bergamasco A. International Missions to Lunar Vicinity and Surface – Near-term Mission Scenario of the Global Space Exploration Roadmap. Proc. of 66th Int. Astronautical Congress. Jerusalem, 2015. Available at: http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/GER-Near-term-Mission-Scenario-final.pdf.

5. NASA-RP-1345 Catalog of lunar and mars science payloads (NASA, Johnson space center). Available at: https://www.lpi.usra.edu/lunar/documents/NASA%20RP-1345.pdf.

6. Sanders G., Carey W., Piedbiuf J.-C., Lorenzoni A. Lunar In-situ Resource Utilization in the ISECG Human Lunar Exploration Reference Architecture. 61st Int. Astronautical Congress. Prague, 2010. Available at: http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/IAC61/IAC-10.A5.1.7-Lunar-ISRU.pdf.

References

1. Legostaev V.P., Lopota V.A., eds. *Luna – shag k tekhnologiyam osvoeniya Solnechnoi sistemy* [Luna – a step towards technology development solar system]. Moscow, Energiya Publ., 2011 (in Russian).

2. Bakhvalov Y.O., Pougachenko S.E., Shaevich S.K. Usage of Low Earth Stations logistics experience for Lunar Inhabited Settlements. Proc. of 62nd Int. Astronautical Congress (3-7 October 2011). CapeTown, SouthAfrica, 2011.

3. Dudley-Rowley M., Gandale T., Lemke L., Cohen M. Habot Lunar Crew Size, Skill Mix, and Time Model. SAE Int., 2005. Available at: https://www.researchgate.net/publication/228346576_Habot_Lunar_Crew_Size_Skill_Mix_and_Time_Model. DOI: 10.4271/2005-01-2792.

4. Hufenbach B., Laurini K., Satoh N., Lange C., Martinez R., Hill J., Landgraf M., A. Bergamasco A. International Missions to Lunar Vicinity and Surface – Near-term Mission Scenario of the Global Space Exploration Roadmap. Proc. of 66th Int. Astronautical Congress. Jerusalem, 2015. Available at: http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/GER-Near-term-Mission-Scenario-final.pdf.

5. NASA-RP-1345 Catalog of lunar and mars science payloads (NASA, Johnson space center). Available at: https://www.lpi.usra.edu/lunar/documents/NASA%20RP-1345.pdf.

6. Sanders G., Carey W., Piedbiuf J.-C., Lorenzoni A. Lunar In-situ Resource Utilization in the ISECG Human Lunar Exploration Reference Architecture. 61st Int. Astronautical Congress. Prague, 2010. Available at: http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/IAC61/IAC-10.A5.1.7-Lunar-ISRU.pdf.

Информация об авторах / Information about the authors

Милованов Александр Георгиевич
доктор технических наук,
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
(*Россия, 125319, г. Москва, ул. Викторенко, д. 7*)

Aleksandr G. Milovanov
Doctor of Technical Sciences,
State Research Institute of Aviation Systems
(*7 Viktorenko street, Moscow, 125319 Russia*)

Пугаченко Сергей Евгеньевич
кандидат технических наук,
Государственный космический научный производственный центр им. М.В. Хруничева
(*121309, Москва, ул. Новозаводская, д. 18*)
pugachenko_se@khrunichev.ru

Sergey E. Pugachenko
Candidate of Technical Sciences,
Khrunichev State Research and Production Space Center
(*18 Novozavodskaya st., Moscow, 121087 Russia*)
pugachenko_se@khrunichev.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 629.7:378

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ К ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЛУНЕ

А.А. Алтунин, П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной, Ю.И. Онуфриенко

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина», г. Москва, Россия

Резюме: *В рамках реализация Федеральной космической программы России на 2016–2025 годы научный коллектив ФГБУ НИИ «Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» ведет полномасштабное изучение Луны, на основании которого станет возможным осуществить к 2030 году высадку человека на нее. На основе анализа возможных сценариев первых полётов с посадкой на поверхность Луны (десантные экспедиции) определена структура основных задач внекорабельной деятельности (ВКД) космонавтов. Освоение Луны предполагает выполнение основной части работ экипажами лунных экспедиций в скафандрах за пределами герметичных взлётно-посадочных модулей (ВПМ). В результате исследования возможных концепций пилотируемой лунной программы России определены условия, которые необходимо учитывать при планировании ВКД на поверхности Луны и при подготовке к этой деятельности космонавтов. Это отсутствие атмосферы; значительные суточные перепады температуры на поверхности; сложный рельеф местности и специфика лунного грунта; лунная пыль; радиационная опасность и др. Это позволило определить перечень типовых операций, которые будут выполняться во время каждого «выхода». Отобранные в результате проведенного исследования основные типовые операции были сгруппированы по следующим классам (кластерам): работа с ВПМ, работа с транспортным средством (ТС), работа с научным оборудованием (НО), работа с ручным инструментом (РИ), работы на поверхности Луны. Представленный перечень операций охватывает практически весь спектр задач, которые космонавты будут выполнять на поверхности Луны. Исследование также показало, что некоторые условия работы космонавтов на поверхности Луны будут достаточно близки к условиям ВКД на МКС. Однако есть и существенные различия. Главным различием условий ВКД на поверхности Луны и на внешней поверхности космических комплексов на околоземных орбитах является наличие гравитации. При наземной подготовке космонавтов к работам на поверхности Луны возникает новая задача – задача подготовки в условиях моделирования условий пониженной гравитации. Проверка возможности отработки типовых операций на выбранных технических средствах подтвердила принципиальную возможность их использования для подготовки космонавтов к ВКД на поверхности Луны.*

Ключевые слова: *пилотируемая космонавтика, освоение Луны, космонавты, взлетно-посадочные модули (ВПМ), внекорабельная деятельность космонавтов (ВКД), типовые операции для ВКД.*

Для цитирования: *Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., Онуфриенко Ю.И. Профессиональная подготовка космонавтов к внекорабельной деятельности на Луне // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 58–63.*

PROFESSIONAL TRAINING OF COSMONAUTS FOR EXTRAVEHICULAR ACTIVITY ON THE MOON

A.A. Altunin, P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, Yu.I. Onufrienko

State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center», Zviozdny Gorodok (Star City), Russia

Abstract*: As part of Russia's Federal Space Program for the years 2016–2025, the research team of the Yuri Gagarin Cosmonaut Training Center is conducting a full-scale study of the Moon, which will prepare the ground for the implementation of a manned moon landing mission by the year 2030. Possible scenarios of the first such piloted flights, with landings on the lunar surface (landing expeditions) have been analyzed with a view to identifying the structure of the main tasks of cosmonaut extravehicular activity (EVA). Exploration of the Moon involves the execution of the greater part of the work by lunar expedition crews operating in space suits outside of hermetic take-off and lander modules (TOLM).*

An examination of the possible concepts of Russia's program of manned lunar space flights has made it possible to identify the conditions which should be taken into consideration in planning EVA on the lunar surface and in training cosmonauts for this activity. They include the absence of atmosphere, considerable 24-hour fluctuations of surface temperature, difficult terrain and special properties of the lunar soil, lunar dust, radiation danger, etc. All this led to identifying the set of standard operations, which will be performed during each "exit" outside of the lunar module.

The main standard operations selected as a result of the performed study were clustered in the following categories: work with the TOLM, work with the transport vehicle (TV), work with research equipment (RE), work with hand tools (HT), and work on the lunar surface. The presented set of operations embraces practically the whole spectrum of tasks the cosmonauts will need to perform on the surface of the Moon. The study has also shown that some of the conditions of cosmonaut activities on the lunar surface are sufficiently close to those of EVA conditions on the International Space Station (ISS).

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

However, there are significant differences. The main difference between EVA conditions on the lunar surface and those on the external surfaces of space complexes in near-Earth orbits is the presence of gravity. Ground-based preparation of cosmonauts for activities on the lunar surface puts forward a new task – that of training in conditions of modeled reduced gravity. The testing of the feasibility of fine tuning standard operations on selected technical means has confirmed the possibility in principle of their use in the preparation of cosmonauts for EVA on the lunar surface.

Key words: *manned space exploration; exploration of the Moon; cosmonauts, take-off and lander modules (TOLM), cosmonaut extravehicular activity (EVA); EVA standard operations.*

For citations: *Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Onufrienko Yu.I. Professional Training of Cosmonauts for Extravehicular Activity on the Moon. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 58–63.*

Введение

Перспективной задачей пилотируемой космонавтики, определенной Федеральной космической программой России на 2016–2025 годы, является создание необходимого задела для полномасштабного исследования Луны после 2025 года и осуществления к 2030 году высадки человека на Луну. Задачи исследования и освоения Луны предполагают выполнение основной части работ экипажами лунных экспедиций в скафандрах за пределами герметичных отсеков. Таким образом, представляется актуальным анализ вопросов подготовки космонавтов к работам на поверхности Луны, которым посвящен настоящий доклад.

Особенности работы космонавтов на поверхности Луны

Условия работы космонавтов на поверхности Луны за пределами герметичных взлётно-посадочных модулей (ВПМ) и лунной базы (ЛБ) определяют ряд специфических проблем для ВКД, которые необходимо учитывать при проведении подготовки космонавтов. В результате анализа возможных концепций пилотируемой лунной программы России [3, 2] в качестве условий, которые необходимо учитывать при планировании ВКД на поверхности Луны и при подготовке к этой деятельности космонавтов, определены: пониженный уровень гравитации (примерно в 6 раз меньше, чем на Земле); отсутствие атмосферы; значительные суточные перепады температуры на поверхности (температуры могут достигать в некоторых случаях максимально около +130°С, минимально около –200ºС); большая продолжительность периода времени между последовательными новолуниями (в среднем около 29,5 земных суток); достаточно близко расположенный видимый горизонт (с высоты глаз наблюдателя, равной 1,75 м: примерно 2,47 км на Луне, против 4,7 км на Земле); сложный рельеф местности и специфика лунного грунта; лунная пыль; радиационная опасность; запаздывание радиосигнала, посланного от Земли на Луну или обратно (1,28 с), метеоритная бомбардировка поверхности.

Некоторые условия работы космонавтов на поверхности Луны будут достаточно близки к условиям ВКД на МКС. Так, например, отсутствие атмосферы, значительные перепады температуры, солнечное излучение и некоторые другие условия определяют необходимость использования при работе специального защитного снаряжения космонавта – скафандра. При этом с учетом опыта подготовки космонавтов к ВКД на низких околоземных орбитах заметим, что эти условия будут проявляться в виде ограничений, накладываемых конструкцией скафандра на функциональные возможности космонавта выполнять рабочие операции. Поэтому при подготовке космонавтов к работам на лунной поверхности специальной имитации этих условий не потребуется, достаточно будет проведения тренировок в макетах лунных скафандров с использованием различных макетов или штатных образцов оборудования и инструмента.

Главным различием условий ВКД на поверхности Луны и на внешней поверхности космических комплексов на околоземных орбитах является наличие гравитации. Наличие гравитации обуславливает способ перемещения космонавтов на ногах (пешие перемещения) или перемещения с использованием транспортных средств (луноходов). При этом предполагаются перемещения

космонавтов на значительные удаления от лунных взлётно-посадочных модулей и модулей лунной базы по маршрутам, имеющим сложный рельеф и различные свойства грунта (лунного реголита). Характерными особенностями микрорельефа, которые необходимо учитывать как при определении опасностей работы на поверхности Луны, так и при моделировании условий работы космонавтов, являются россыпи камней и каменные гряды вблизи кратеров, наличие значительных по величине уклонов поверхности, а также отложения рыхлого грунта на склонах кратеров. Кроме того, необходимо учитывать значительную продолжительность лунных суток (дня и ночи), затруднения визуального определения расстояний и задержки радиосигнала с Земли.

При наземной подготовке космонавтов к работам на поверхности Луны возникает новая задача – задача подготовки в условиях моделирования условий пониженной гравитации. Подготовку космонавтов необходимо будет проводить с использованием макетов лунных скафандров, обеспечивающих как можно более точное воспроизведение ограничений, обусловленных конструкцией лунного скафандра (массово-габаритные характеристики, условия микроклимата и теплосъём, подвижность шарнирных соединений, упругость мягких оболочек, тактильная чувствительность и т.д.). В процессе проведения тренировок необходимо будет обеспечить возможность перемещения космонавта по сложному микрорельефу местности на большие расстояния пешком и/или на специальном транспортном средстве (луноходе), а также наличие макетов оборудования и инструмента (с массой 1/6 от земной), используемого им при выполнении поставленных задач.

Определение задач ВКД космонавтов на поверхности Луны

В настоящее время различные проблемы освоения Луны находятся на стадии теоретических исследований, обоснования необходимости и целесообразности, и прогнозного планирования [3]. Для реализации пилотируемых лунных экспедиций одной из важных проблем является определение комплекса задач, которые должен решать экипаж. На основе анализа возможных сценариев первых полётов с посадкой на поверхность Луны (десантные экспедиции) определена структура основных задач ВКД, которая представлена на рис. 1.

Анализ сценариев выполнения работ космонавтов на поверхности Луны при осуществлении лунных экспедиций показывает, что по аналогии с ВКД на внешней поверхности МКС можно выделить типовые операции, которые будут выполняться во время каждого выхода на лунную поверхность из ВПМ или герметичных объектов ЛБ (далее «выход»), а также целевые операции «выхода».

Основные типовые операции, которые будут выполняться во время каждого «выхода», можно сгруппировать по следующим классам (кластерам): работа с ВПМ, работа с транспортным средством (ТС), работа с научным оборудованием (НО), работа с ручным инструментом (РИ), работы на поверхности Луны. Структура типовых операций частично представлена на рис. 2.

ЗАДАЧИ ВКД НА ЛУНЕ		
Осмотр места посадки и ВПМ	Построение укрытий и мест размещения оборудования	Построение крупногабаритных конструкций
Подготовка оборудования к работе (разгрузка ВПМ)	Подбор оборудования, доставленного АКА	Использование местных материалов для обеспечения ЛБ
Установка стационарного связного оборудования	Разведка удалённых районов	Обнаружение лунных аппаратов ранее отправленных на Луну
Установка приборов наблюдения	Проведение исследований на поверхности Луны	Обслуживание и ремонт объектов инфраструктуры

Рис. 1. Задачи внекорабельной деятельности на Луне

(Fig. 1. The tasks of extravehicular activity on the Moon)

ТИПОВЫЕ ОПЕРАЦИИ ВКД НА ЛУНЕ				
Работа с ТС	**Работа с НО**	**Работа на поверхности Луны**	**Работа с ВПМ**	**Работа с РИ**
Приведение в рабочее состояние	Монтаж/ демонтаж на опоры	Пешие перемещения	Прямое и обратное шлюзование	Вынос/ внос из ВПМ
Погрузка/ снятие и фиксация/ расфиксация оборудования	Монтаж новых блоков, узлов	Ориентирование на местности	Открытие/закрытие выходного люка	Извлечение/ укладка из контейнера
…….	…….	…….	…….	…….
Управление движением	Прокладка кабельных линий, подсоединение разъёмов	Перенос оборудования вручную	Спуск/ подъём по лестнице (трапу)	Применение по назначению
Управление бортовыми системами	Юстировка целевой аппаратуры	Взятие образцов грунта	Вынос/ внос оборудования изнутри/ внутрь	Сборка/ разборка составного инструмента
Поиск неисправностей и ремонт	Поиск неисправностей и ремонт	Фото и видеофиксация	Осмотр и видеосъёмка критически важных узлов	

Рис. 2. Структура типовых операций ВКД на Луне

(Fig. 2. Structure of typical operations of the MCD on the Moon)

Представленный перечень операций охватывает практически весь спектр задач, которые космонавты будут выполнять на поверхности Луны.

Для эффективной наземной подготовки космонавтов по всему рассмотренному комплексу задач ВКД на Луне и отработке основных типовых операций потребуется проведение тренировок космонавтов с имитацией основных факторов, влияющих на трудовую деятельность космонавтов на лунной поверхности. Такими основными факторами являются пониженная весомость и конструкция скафандра.

Способы и средства моделирования условий работы космонавтов на лунной поверхности в наземных условиях

В научно-технической литературе встречаются описания более десяти способов имитации пониженной весомости и невесомости в наземных условиях [2]. При этом для проведения практической подготовки космонавтов к работам на поверхности Луны в условиях моделирования пониженной гравитации представляется возможным использование следующих способов и технических средств:

- полет самолёта-лаборатории по параболической траектории с остаточными перегрузками, соответствующими «лунной весомости»;
- «частичное уменьшение массы» объектов (космонавта в скафандре, оборудования) при погружении под воду в специальном бассейне (гидролаборатории);
- «частичное уменьшение массы» объектов (космонавта в скафандре, оборудования) на специальных стендах с многокоординатными силокомпенсирующими системами.

Кроме того, задачи, связанные с ориентированием на местности, необходимо будет отрабатывать в специальных макетах лунных скафандров на естественных или искусственных полигонах – аналогах лунной поверхности (АЛП) [1]. Для сокращения объёмов и стоимости тренировок такие операции могут частично отрабатываться с использованием средств виртуальной реальности, например, задача подготовки управлением лунохода на поверхности Луны [4].

В рамках создания научно-технического задела для подготовки космонавтов к работам на поверхности Луны в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК) разработан перечень типовых операций с целью отработки комплекса задач ВКД на поверхности Луны:

Типовые операции	Т «В-2»	ГЛ	СЛ	АЛП
Прямое и обратное шлюзование в ВПМ	X			
Открытие/закрытие выходного люка ВПМ	X			
Спуск/подъем по лестнице (трапу) ВПМ	X	X		
Вынос /внос оборудования из/в внутренних отсеков ВПМ		X		
Снятие/установка оборудования с/на внешней поверхности ВПМ		X		
Осмотр и видеосъёмка критически важных узлов ВПМ	X	X		
Пешие перемещения на поверхности различными способами	X	Д	X	
Приведение ТС в рабочее состояние	X	X		
Погрузка/снятие и фиксация/расфиксация оборудования на ТС		X		
Перенос контейнеров вручную по различным типам поверхности	X	X		
Извлечение/укладка инструмента из контейнера	X	X		
Монтаж /демонтаж НО на опоры		X		
Монтаж/демонтаж новых/неисправных блоков на/с НО	X			
Поиск неисправностей и ремонт НО и ТС	X			
Очистка оборудования перед вносом в ВПМ	X			X
Поиск неисправностей и ремонт	X			X

Примечание. При окончательном принятии решения об использовании необходимо учитывать характеристики (свойства) макетов оборудования и ограничения имитаторов и тренажеров.

Заключение

На основе анализа особенностей работы и основных задач ВКД космонавтов на поверхности Луны определён перечень типовых операций для подготовки космонавтов к выполнению комплекса задач ВКД на лунной поверхности.

В качестве основных способов и технических средств подготовки космонавтов к работам на поверхности Луны в наземных условиях рекомендованы: полеты СЛ по параболической траектории; «частичное уменьшение массы» при погружении под воду в ГЛ; «частичное уменьшение массы» на специальных стендах с многокоординатными силокомпенсирующими системами; имитация лунного ландшафта на земных естественных и искусственных АЛП.

Проверка возможности отработки типовых операций на выбранных технических средствах подтвердила принципиальную возможность их использования для подготовки космонавтов к ВКД на поверхности Луны.

Литература

1. Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. Миссии-аналоги НАСА, проводимые в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос: HMP, DesertRATS, ISRU, PLRP, FMARS // Пилотируемые полеты в космос. 2016. № 3(20). С. 68–79.

2. Иродов Е.Ю., Долгов П.П., Коренной В.С., Крючков Б.И., Ярополов В.И. К вопросу подготовки космонавтов для работы на поверхности Луны // Пилотируемые полеты в космос. 2018. № 1(26). С. 71–89.

3. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы. М.: Энергия, 2011. 584 с.

4. Онуфриенко Ю.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Жамалетдинов Н.Р., Коренной В.С. Направления применения компьютерного моделирования при подготовке космонавтов к ВКД // Пилотируемые полеты в космос: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. Звездный городок, 2017. С. 219–221.

References

1. Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoi V.S. NASA Analogue Missions, Implemented in the Interests of Manned Missions to Deep Space: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2016, no. 3(20), pp. 68–79 (in Russian).

2. Irodov E.Yu., Dolgov P.P., Korennoi V.S., Kryuchkov B.I., Yaropolov V.I. Cosmonaut Training for Work on the Lunar Surface. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2018, no. 1(26), pp. 71–89 (in Russian).

3. *Luna – shag k tekhnologiyam osvoeniya Solnechnoi sistemy* [The Moon is a step towards the technologies of Solar system development.]. Moscow, Energiya Publ., 2011, 584 p. (in Russian).

4. Onufrienko Yu.I., Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Zhamaletdinov N.R., Korennoi V.S. *Napravleniya primeneniya komp'yuternogo modelirovaniya pri podgotovke kosmonavtov k VKD* [Areas of application of computer simulation in the preparation of astronauts for extravehicular activity]. In: *Pilotiruemye polety v kosmos: materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 12th Int. Sci. Conf. «Manned flights into space»]. Zvezdnyi gorodok, 2017, pp. 219–221 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Алтунин Алексей Алексеевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Долгов Павел Павлович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)
P.Dolgov@gctc.ru

Иродов Евгений Юрьевич
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)

Коренной Виктор Сергеевич
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)

Онуфриенко Юрий Иванович
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Aleksey A. Altunin
State Organization "Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center"
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Pavel P. Dolgov
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
P.Dolgov@gctc.ru

Evgeniy Yu. Irodov
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Viktor S. Korennoy
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
State Organization "Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center"
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Yuriy I. Onufrienko
State Organization "Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center"
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Мониторинг / Research Monitoring

УДК 629.73.05:621.386(05)

О КОНЦЕПЦИИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИОНИКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ФИЗИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Г.И. Джанджгава, А.В. Дядищев, Р.Ш. Гарифов

АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро (РПКБ)», г. Раменское, Россия

Резюме: *В статье рассматриваются концепции мониторинга технического состояния изделий авионики на основе применения средств и методов физической диагностики. Постановка данной задачи продиктована растущими потребностями опытно-конструкторских работ (ОКР), изготовления и послепродажного обслуживания в применении мониторинга технического состояния (ТС) изделий авионики (ИА) на основе полного анализа внешних воздействующих факторов (ВВФ) и синтеза моделей ТС в зависимости от уровней и времени воздействия на изделие ВВФ. Бурно развивающиеся микромеханические сенсоры (МЭМС), средства микро- и наноэлектроники, а также методы обработки параметров внешних воздействующих факторов позволили сформулировать принципы физической диагностики и приступить к реализации данной технологии определения технического состояния изделий авионики. Ожидаемые результаты от применения такой технологии (авторы статьи назвали ее «Система объективного контроля эксплуатационных факторов») распространяются на все этапы жизненного цикла изделия и, особенно, на техническую эксплуатацию образцов как его наиболее продолжительного этапа. Применение Системы объективного контроля эксплуатационных факторов расширит понимание технической эксплуатации по состоянию и внесет дополнительные возможности в цифровизацию этапов жизненного цикла изделия.*

В рамках выполненной в 2017 году НИР (шифр "СОК ЭФ") была показана принципиальная возможность разработки Системы объективного контроля эксплуатационных факторов для изделий авионики объектов авиационного назначения, разработаны ее концепция и основные комплексные подходы использования микромеханических сенсоров и элементов микроэлектроники, изготовлены и испытаны ее действующие макетные образцы.

По результатам выполненных исследований и макетного проектирования предполагается создание Системы объективного контроля эксплуатационных факторов для всех изделий авионики летательных аппаратов и полимикропроцессорной среды летательных аппаратов. Такая система микропроцессоров, кроме задач оценки технического состояния изделий авионики, а также задач валидации, рекламации и продления назначенных показателей изделий авионики, позволит на всех этапах жизненного цикла изделий авиационного комплекса собирать наиболее полную информацию о внешних воздействующих факторах в разнесенных точках конструкции летательных аппаратов и решать проблемы аэроавтоупругости.

Другими расширениями являются создание физической модели реального времени функционирования системы электроснабжения, построение цифровых систем складского детального хранения изделий авионики и др. Наземный сегмент Системы объективного контроля эксплуатационных факторов предполагает анализ характеристик долговечности при обобщении данных парков летательных аппаратов, основанный на элементах экспертного мониторинга систем, что и будет завершающим компонентом систем поддержки эксплуатации с использованием инновационного электронного паспорта каждого изделия авионики.

Полученные результаты и созданный при выполнении научно-исследовательских работ научно-технический задел планируется использовать в опытно-конструкторских работах по созданию опытных и модернизированных объектов. Разрабатываемые научно-технические и организационные в рамках Системы объективного контроля эксплуатационных факторов решения могут в дальнейшем получить широкое применение при диверсификации изделий авионики, а также на рынках продуктов мониторинга технического состояния сложных объектов различного назначения.

Ключевые слова: *изделия авионики, системы объективного контроля эксплуатационных факторов, диверсификация изделий авионики, этапы жизненного цикла изделия.*

Для цитирования: *Джанджгава Г.И., Дядищев А.В., Гарифов Р.Ш. О концепции мониторинга технического состояния изделий авионики на основе применения средств и методов физической диагностики // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 64–68.*

ON A CONCEPT FOR TECHNICAL CONDITION MONITORING OF METHODS USED FOR ANALYZING PHYSICAL MEDIA

G.I. Dzhandzhgava, A.V. Dyadischev, R.Sh. Garifov

JSC «RDC», Moscow area, Ramenskoje, Russia

Resume: *The article reviews concepts for avionics products technical condition monitoring based on the application of tools and methods of physical diagnostics. The formulation of this goal is called for by the growing needs of the development work (DW), production, and post-sale technical support in the application of avionics products technical condition monitoring (AP TCM) based on the full analysis of*

external influencing factors (EIF) and a synthesis of TC models depending on the levels and duration of the product exposure to EIF. The booming field of micromechanical sensors (MEMS), micro-, and nanoelectronics means, and methods for processing EIF parameters allow to define the principles of physical diagnostics and to start the implementation of this technology for identifying AP technical condition. The expected results from its application (the authors refer to the technology as a system of objective control of operational factors) extend to all the stages of the product life cycle (LCP), and especially to the technical maintenance of models as its longest stage. The utilization of the above-mentioned system will expand the understanding of technical maintenance according to condition and create additional opportunities in the digitization of stages in the LCP.

Research activities implemented in 2017 (coded as SOC OF) demonstrated the principal feasibility of developing SOC OF for aviation facilities avionics products. A system concept and major integrated approaches to using MEMS and microelectronic elements were developed, and the system's operational mock-ups were built and tested.

As a result of the completed research and layout design, it is proposed to set up a system of objective control of influencing factors for all products of flying machines (FM) avionics and to organize an FM polymicro sensing environment. Along with the tasks of evaluating the technical condition of AP and with the objectives of validation, reclamation, and extension of assigned AP indicators, such a microprocessor system will allow to collect the fullest possible information on the external influencing factors in spatially distributed points of the FM structure at all LCP stages and to resolve problems of aeroautoelasticity. Other potential applications include the development of a real-time physical model of a functioning power supply system and construction of a digital system for detailed warehouse storage of AP, etc. The ground-based SOC OF segment is designated for analysis supported with elements of expert systems and aimed at durability characteristics in the aggregation of data from FM parks, and will be the final component of the operational support system using an innovation electronic passport for each avionics product.

The obtained results and the technological advances achieved in the course of the research activities will be used in development work on the construction of experimental and modernized facilities. Scientific, technological, and organizational solutions developed within the framework of SOC OF can be further utilized extensively in AP diversification and on markets of products of TCM monitoring of complex objects designed for various uses.

Key words: *Avionics products, systems of objective control of contributing factors, diversification of avionics products, stages of the product life cycle.*

For citations: *Dzhandzhgava G.I., Dyadischev A.V., Garifov R.Sh. On a Concept for Technical Condition Monitoring of Methods Used for Analyzing Physical Media. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 64–68.*

Постановка данной задачи продиктована растущими потребностями опытно-конструкторских работ (ОКР), изготовления и послепродажного обслуживания в применении мониторинга технического состояния (ТС) изделий авионики (ИА) на основе полного анализа внешних воздействующих факторов (ВВФ) и синтеза моделей ТС в зависимости от уровней и времени воздействия на изделие ВВФ. Бурно развивающиеся средства (микромеханические сенсоры (МЭМС), средства микро- и наноэлектроники) и методы обработки параметров ВВФ позволяют сформулировать принципы физической диагностики и приступить к реализации данной технологии определения ТС ИА. Ожидаемые результаты от применения такой технологии (авторы статьи назвали ее «Система объективного контроля эксплуатационных факторов (СОК ЭФ)») распространяются на все этапы жизненного цикла изделия (ЖЦИ) и, особенно, на техническую эксплуатацию образцов как его наиболее продолжительного этапа. Применение СОК ЭФ расширит понимание технической эксплуатации по состоянию (ТЭС) и внесет дополнительные возможности в цифровизацию этапов ЖЦИ.

В рамках выполненной в 2017 году НИР (шифр «СОК ЭФ») была показана принципиальная возможность разработки СОК ЭФ для ИА объектов авиационного назначения, разработаны ее концепция и основные комплексные подходы использования МЭМС и микроэлектроники, проект ТЗ на ОКР СОК ЭФ, изготовлены и испытаны ее действующие макетные образцы.

В рамках НИР были получены следующие основные результаты.

1. *Выполнен анализ этапов ЖЦИ (см. рисунок) и ВВФ на этапах хранения, транспортировки, применения по назначению изделий ИА по значимости влияния на их работоспособность.*

На данной схеме приведены следующие обозначения:

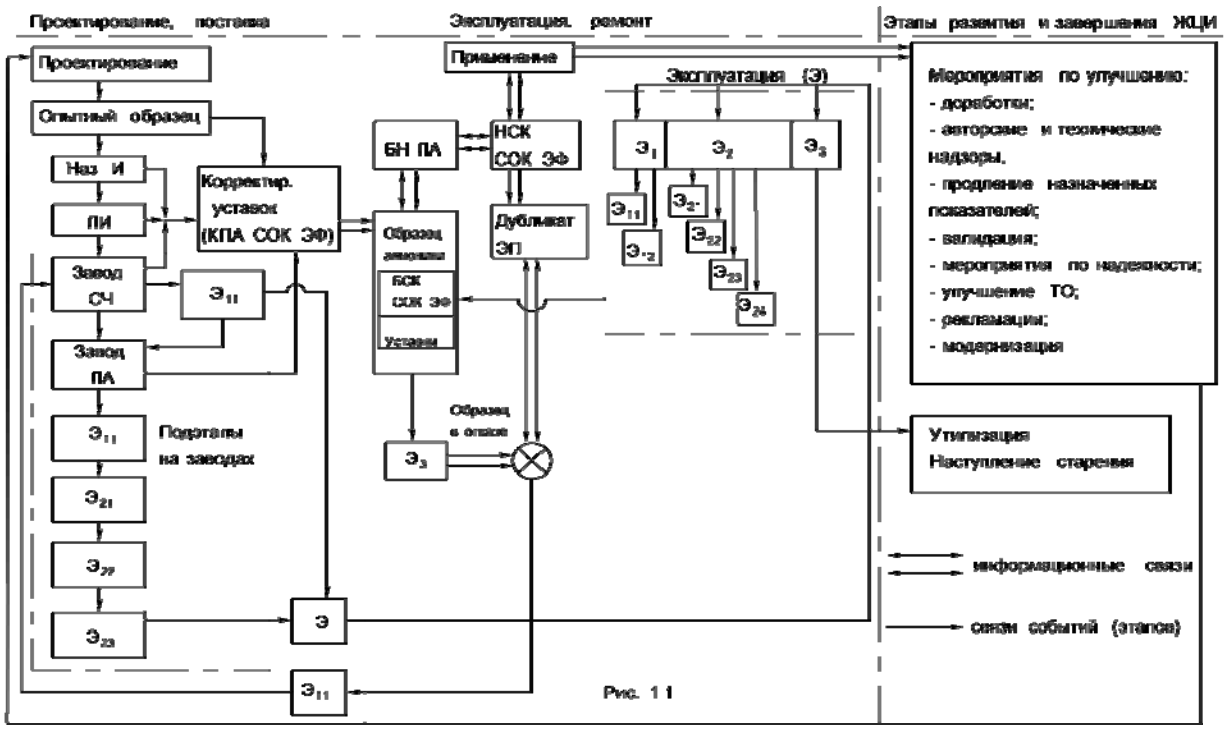
- Наз.И, ЛИ – наземные и летные испытания;
- СЧ – составная часть – ИА;
- Э, Э11; Э12; Э2; Э21; Э22; Э23; Э24; Э3 – события эксплуатации и ее этапов (соответственно, консервация, хранение и транспортирование до ввода ИА в экс-

плуатацию в составе объекта; демонтаж и переноска (транспортирование), хранение демонтированного с объекта ИА; эксплуатация ИА в составе объекта; эксплуатация ИА в составе объекта в выключенном состоянии; наземная эксплуатация ИА в составе объекта во включенном состоянии; летная эксплуатация ИА в составе объекта; консервация (при необходимости) и хранение в составе объекта; демонтаж и переноска (транспортирование), консервация (при необходимости) и хранение демонтированного с объекта отказавшего ИА, транспортирование ИА на ремонтное предприятие);

- КПА – контрольно-проверочная аппаратура;
- БСК – бортовая система контроля (бортовая часть СОК ЭФ);
- БН ЛА – бортовой накопитель летательного аппарата;
- ЭП – электронный паспорт ИА.

2. *Для решения перспективных задач ЛА и БРЭО (аппаратура необслуживаемого оборудования, физические модели систем электроснабжения и объекта и др.) определена необходимость:*

- проведения физической диагностики ИА средствами микромеханических электронных систем и микроэлектроники с последующей обработкой данных;
- создания открытой архитектуры аппаратных и программных средств СОК ЭФ для наращивания задач и рынков СОК ЭФ;
- решения задачи автономного электропитания СОК ЭФ;
- комплексирования бортовых аппаратных и программных средств бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) с аппаратными и программными средствами СОК ЭФ для обеспечения единого времени регистрации событий и получения информации о состоянии изделий БРЭО;
- обеспечения требуемых показателей надежности компонентов СОК ЭФ.



Структурная схема этапов проектирования, поставки и применения ИА в технологии СОК ЭФ

(A structural chart of the stages of design, delivery and use of avionics in operational factors objective control systems)

3. *Исследованы варианты структуры построения бортовых и наземных компонентов СОК ЭФ и их информационного обмена. Выбраны типы перспективных аппаратных средств на основе анализа зарубежных и отечественных компонентов.*
4. *Проведены исследования применяемых тепломеханических моделей для расчета конструкции изделий, возможности их адаптации при измерении тепловых и механических параметров. Разработана методика выбора мест установки тепломеханических датчиков и способов их встраивания в типовые конструкции изделий.*
5. *Разработаны перечень, основы алгоритмического обеспечения режимов работы СОК ЭФ и структурная схема ситуационных режимов для всех этапов применения по назначению ИА. Для детализации ситуационных подрежимов (хранения, транспортирования, переноски, осмотра, падения изделия) разработаны алгоритмы.*
6. *Разработаны проекты требований к бортовым средствам СОК ЭФ по анализу качества электропитания ИА. В ОКР СОК ЭФ предлагается разработать отдельное устройство, оценивающее качество электропитания в соответствии с действующими стандартами, пороговое устройство в бортовой системе контроля (БСК) СОК ЭФ.*
7. *Методически решен вопрос привязки потоков данных разнесенных компонентов СОК ЭФ (в микропроцессорах СОК ЭФ) и их последующей обработки в наземных мобильных и стационарных вычислителях.*
8. *Разработаны методы оценки жесткости эксплуатации ИА на этапах ОКР и эксплуатации при использовании СОК ЭФ. Практическое применение данной разработки состоит в совершенствовании методов определения состояния на основе оценки оставшихся ресурсов и сроков службы по результатам фактической эксплуатации каждого образца ИА.*
9. *Разработаны ТЗ на конструкцию и ПО макета СОК ЭФ. Разработана конструкторская документация макета, изготовлен и отлажен действующий макет СОК ЭФ. Проведены испытания макета СОК ЭФ с положительным результатом и экспериментально подтверждены отдельные ее режимы.*
10. *По результатам НИР разработан проект ТЗ на ОКР СОК ЭФ.*

По результатам выполненных исследований и макетного проектирования предполагаются создание СОК ЭФ для всех ИА ЛА и организация полимикропроцессорной среды ЛА. Такая система микропроцессоров, кроме задач оценки ТС ИА, а также задач валидации, рекламации и продления назначенных показателей ИА, позволит на всех этапах ЖЦИ авиационного комплекса собирать наиболее полную информацию о ВВФ в разнесенных точках конструкции ЛА и решать проблемы аэроавтоупругости.

Другими расширениями являются создание физической модели реального времени функционирования системы электроснабжения, построение цифровых систем складского детального хранения ИА и др. Наземный сегмент СОК ЭФ предполагает решение задач анализа характеристик долговечности при обобщении данных парков ЛА, основанного на элементах экспертного мониторинга систем, что и будет завершающим компонентом систем поддержки эксплуатации с использованием инновационного электронного паспорта каждого ИА.

Полученные результаты и созданный при выполнении НИР научно-технический задел будут использоваться в ОКР по созданию опытных и модернизированных объектов. Разрабатываемые научно-технические и организационные в рамках СОК ЭФ решения могут в дальнейшем получить широкое применение при диверсификации ИА, а также на рынках продуктов мониторинга технического состояния сложных объектов различного назначения.

Литература

1. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Волновой твердотельный гироскоп. М.: Наука, 1985. 125 с.

2. Матвеев В.А., Лунин Б.С., Басараб М.А. Навигационные системы на волновых твердотельных гироскопах. М.: Физматлит, 2008. 239 с.

3. Джанджгава Г.И., Бахонин К.А., Виноградов Г.М., Требухов А.В. Бесплатформенная инерциальная навигационная система на базе твердотельного волнового гироскопа // Гироскопия и навигация. 2008. № 1. С. 22–32.

4. Джанджгава Г.И., Требухов А.В., Бахонин К.А., Редькин С.П., Соловьев В.М., Меркушов Д.А., Алехин А.В., Некрасов А.В. Практическая разработка инерциальных систем ориентации и навигации (ИСОН) на твердотельных волновых гироскопах для высокоманевренных летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 8. С. 67–77.

References

1. Zhuravlev V.F., Klimov D.M. *Volnovoi tverdotel'nyi giroskop* [Wave solid-state gyroscope]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 125 p. (in Russian).

2. Matveev V.A., Lunin B.S., Basarab M.A. *Navigatsionnye sistemy na volnovykh tverdotel'nykh giroskopakh* [Navigation systems on the wave of solid-state gyroscopes]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008, 239 p. (in Russian).

3. Dzhandzhgava G.I., Bakhonin K.A., Vinogradov G.M., Trebukhov A.V. Hemispherical resonance gyro-based strapdown inertial navigation system. *Giroskopiya i navigatsiya*, 2008, no. 1, pp. 22–32 (in Russian).

4. Dzhandzhgava G.I., Trebukhov A.V., Bakhonin K.A., Red'kin S.P., Solov'ev V.M., Merkushov D.A., Alekhin A.V., Nekrasov A.V. Practical development of Inertial orientation and navigation systems (ISON) based on hemispherical resonator gyroscope for highly maneuverable aircraft. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2015, no. 8, pp. 67–77 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Джанджгава Гиви Ивлианович
доктор технических наук, профессор, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро (РПКБ)» (*140103, Московская область, г. Раменское, ул. Гурьева, 2*)
rpkb@rpkb.ru

Givi I. Dzhandzhgava
Doctor of Technical Sciences, Professor,
JSC «RDC»
(*2 Guryeva str., Moscow area, Ramenskoje, 140103 Russia*)
rpkb@rpkb.ru

Дядищев Александр Васильевич
АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро (РПКБ)» (*140103, г. Раменское, Московская область, Российская Федерация, ул. Гурьева, 2*)
rpkb@rpkb.ru

Aleksandr V.Dyadischev
JSC «RDC»
(*2 Guryeva str., Moscow area, Ramenskoje, 140103 Russia*)
rpkb@rpkb.ru

Гарифов Рашид Шайхутдинович
АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро (РПКБ)» (*140103, г. Раменское, Московская область, Российская Федерация, ул. Гурьева, 2*)
rpkb@rpkb.ru

Rashid Sh. Garifov
JSC «RDC»
(*2 Guryeva str., Moscow area, Ramenskoje, 140103 Russia*)
rpkb@rpkb.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 551.326.8.02:629.78:528.9(083.131)

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

В.А. Малинников, В.П. Савиных, Дм.В. Учаев, Д.В. Учаев

Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Россия

Резюме: *В настоящее время одной из важнейших задач дистанционного мониторинга Мирового океана является задача мониторинга ледовой обстановки в полярных бассейнах в целях обеспечения безопасности мореплавания и морских промыслов. При этом наибольшее распространение получили данные оптических и радиолокационных космических съемочных систем, по своим техническим характеристикам максимально подходящие для выявления и оценки состояния ледовых объектов на поверхности северных морей.*

Последние исследования по тематической обработке цифровых изображений ледовых полей показали, что более эффективным для описания их пространственной структуры представляется использование мультифрактального подхода, базирующегося на следующих двух положениях: 1) каждый элемент некоторого одноканального либо многоканального (многослойного) изображения можно сопоставить с набором мультифрактальных параметров, полученных в результате мультифрактального анализа некоторой локальной окрестности данного элемента; 2) сходные по текстуре участки спутникового изображения характеризуются близкими значениями одного либо ряда мультифрактальных параметров, отвечающих за степень однородности, пространственной упорядоченности, внутренней организованности описываемой ими структуры, и могут использоваться для классификации структур, представленных на изображении.

В работе был использован метод обобщенного локально-глобального мультифрактального анализа цифровых изображений (программный пакет «Гео-ПК»), предложенный Д.В. Учаевым и Дм.В. Учаевым, позволяющий, в отличие от классических методов фрактального анализа, получать канонические спектры скейлинговых показателей τ(q), размерностей Реньи D(q), сингулярностей f(α) и оценивать локальное поведение меры, характеризуемое значениями гельдеровской экспоненты α. При выполнении экспериментальных исследований использовались цифровые изображения акватории Карского моря с пространственным разрешением 50–100 м, поступившие с полярно-орбитального спутника «Метеор-М» №2 в период июнь – июль 2017 г.

Анализ результатов мультифрактальной обработки цифровых изображений ледового поля вблизи архипелага Новая Земля (координаты: 570 в.д. – 700 в.д.; 72030' с.ш. – 76030' с.ш.) за период с 30.06.20017 по 14.07.2017 показал, что исследуемый ледовый объект находится в состоянии интенсивного таяния. В процессе таяния пространственная структура ледового покрытия претерпевает существенные изменения, что получает отражение в значениях параметров его мультифрактальных спектров. К числу наиболее информативных параметров мультифрактальных спектров, характеризующих трансформацию пространственной структуры ледового объекта, можно отнести: ширину мультифрактального спектра $\Delta\alpha = \alpha_{max} - \alpha_{min}$, *характеризующую разброс фрактальных свойств исследуемой пространственной структуры; информационный параметр* $\Delta_{40}D = D_1 - D_{40}$, *отражающий степень упорядоченности и нарушения симметрии общей конфигурации структуры; параметр R – отношение ширины левой* $\Delta L\alpha$ *и правой* $\Delta R\alpha$ *ветвей спектра* $f(\alpha)$, *характеризующий асимметрию мультифрактального спектра.*

Значения данных мультифрактальных параметров по мере нарастания деформации ледового покрытия статистически значимо увеличиваются, что позволяет их использовать в качестве интегральных характеристик ледовой обстановки.

Ключевые слова: *дистанционный мониторинг Мирового океана, оптические и радиолокационные космические съемочные системы, оценка ледовой обстановки, мультифрактальные параметры.*

Для цитирования: *Малинников В.А., Савиных В.П., Учаев Дм.В., Учаев Д.В. Мультифрактальная оценка ледовой обстановки по материалам космической съемки // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 69–74.*

MULTIFRACTAL ASSESSMENT OF THE ICE SITUATION BASED ON SPACE IMAGERY

V.A. Malinnikov, V.P. Savinykh, Dm.V. Uchaev, D.V. Uchaev

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Abstract: *At present, one of the most important tasks of long distance monitoring of the World ocean is monitoring of ice conditions in the Polar basins with a view to maintaining navigation and marine fisheries safety. In activities associated with this task, a major role is played today by data of optical and radar space survey systems which are in broad circulation and which, owing to their technical characteristics, are most practicable for identifying and evaluating the condition of ice objects on the surface of Northern seas.*

The most recent studies on thematic processing of digital images of ice fields have shown that the most effective approach for describing their spatial structure is the use of a multifractal approach based on the following two premises: 1) each element of some single- or multi-channel (multi-layer) image may be juxtaposed with a set of multifractal parameters obtained as a result of multifractal analysis of some local neighborhood of the given element; 2) areas of satellite images similar in texture are characterized by close values of one or several

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

multifractal parameters responsible for the degree of homogeneity, spatial regularity, and internal organization of the structure described by them and can be used for classification of structures presented in the image.
The investigators used the method of generalized local/global multifractal analysis of digital images (Geo-PK software package) proposed by D.V. Uchaev and Dm.V. Uchaev and allowing, unlike the classical methods of fractal analysis, to obtain canonical spectra of scaling indicators τ (q), Renyi dimensions D (q), and singularities f (α), and to evaluate the local behavior of measure characterized by the values of the Hölder exponent α. In the course of experimental studies, the investigators used digital images of the Kara Sea territory, with a spatial resolution of 50-100 m, which came from the polar-orbital Meteor-M #2 satellite during the period of June-July 2017.
The analysis of the results of multifractal processing of digital images of the ice field near the Novaya Zemlya archipelago (coordinates: 570 e.l. – 700 e.l.; 72030' n.l. – 76030' n.l.) for the period from 30.06.2017 to 14.07.2017 has shown that the explored ice object is in a state of intensive melting. In the melting process, the spatial structure of the ice is undergoing significant change which is reflected in the values of parameters of its multifractal spectra. The most informative parameters of multifractal spectra characterizing the transformation of the spatial structure of an ice object include: the width of the multifractal spectrum $\Delta\alpha = \alpha_{max} - \alpha_{min}$ *characterizing the variation of fractal properties of the investigated spatial structure; the informational parameter* $\Delta_{40}D = D_1 - D_{40}$ *reflecting the degree of regularity and violation of symmetry of the structure general configuration; the R parameter – the ratio of the width of the left* $\Delta L\alpha$ *and right* $\Delta R\alpha$ *branches of the spectrum f(α) characterizing the asymmetry of the multifractal spectrum.*
The values of these multifractal parameters show a statistically significant increase correlated with the increase of ice deformation, which allows to use them as integral characteristics of ice conditions.

Key words: *long-distance monitoring of the World ocean, optical and radar space survey systems, evaluation of ice conditions; multifractal parameters.*

For citations: *Malinnikov V.A., Savinykh V.P., Uchaev Dm.V., Uchaev D.V. Multifractal Assessment of the Ice Situation Based on Space Imagery. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 69–74.*

Одной из важнейших задач дистанционного мониторинга Мирового океана является задача мониторинга ледовой обстановки в полярных бассейнах в целях обеспечения безопасности мореплавания и морских промыслов. При этом наибольшее распространение получили данные оптических и радиолокационных космических съемочных систем, по своим техническим характеристикам максимально подходящие для выявления и оценки состояния ледовых объектов на поверхности северных морей, и, в частности, многозональные изображения, поступающие с борта полярно-орбитального спутника «Метеор-М» № 2. Съемочная аппаратура комплекса многозональной спутниковой съемки на борту космического аппарата «Метеор-М» № 2 включает в себя две камеры МСУ-201 и МСУ-202 с разрешением около 60 м и тремя спектральными зонами в видимом и ближнем ИК диапазонах, оптимизированными для съёмок суши, и одну камеру МСУ-250 с разрешением около 120 м и тремя спектральными зонами в видимом диапазоне, оптимизированными для мониторинга водных объектов [2].

К характеристикам, отражающим ледовую обстановку и наиболее часто используемым при анализе ледовых условий, относятся сплоченность, возраст (толщина льда), форма (размеры льдин). Детализирующими оценками считаются торосистость, заснеженность, а в весенний период – разрушенность льда. Разрушенность льда в процессе таяния оценивается визуально согласно кодовой таблице 1.4 «Международная символика для морских ледовых карт» [4].

Характерными структурными элементами поля тающего льда являются:

- *снежница* – скопление на льду талой воды, главным образом, вследствие таяния снега, а на более поздних стадиях – таяния льда (в начальной стадии представляет собой пятна пропитанного водой снега);
- *проталина* – вертикальные отверстия в морском льду, образующиеся в результате сквозного протаивания льда под снежницами;
- *обсохший лед* – морской лед, с поверхности которого исчезли снежницы в результате образования трещин и проталин (во время периода обсыхания поверхность льда белеет);
- *гнилой лед* – морской лед, который приобрел сотообразное строение и находится в последней стадии разрушения;
- *затопленный лед* – морской лед, покрытый сплошным слоем талой или речной воды (несет большую нагрузку воды и мокрого снега);
- *сквозной водяной заберег* – чистая вода между берегом и припаем, образованная в результате таяния и/или речного стока.

Степень разрушенности ледяного покрова определяется визуально в зависимости от стадии таяния льда по 10-балльной шкале: 0 баллов – разрушенности нет, сплошной лед; 9 баллов – лед полностью разрушен [4].

Ниже представлены результаты мультифрактальной параметризации разновременных космических изображений участков тающего ледового поля.

Методика расчета значений локальных и глобальных мультифрактальных характеристик исследуемых изображений, описанная в работе [3], включает в себя следующие этапы:

1. Формирование фрактальной меры ячеек, надстраиваемых над каждым элементом цифрового изображения.
2. Расчет для каждой точки изображения значений гельдеровских показателей, характеризующих локальное поведение меры.
3. Расчет значений одномерных МФС и их интегральных мультифрактальных характеристик, характеризующих глобальное поведение меры.
4. Расчет значений локального спектра фрактальных размерностей, демонстрирующего, к какому из фрактальных подмножеств принадлежит каждый элемент изображения.

Исходными данными для проведения мультифрактального анализа послужили спутниковые снимки акватории Карского моря с пространственным разрешением 50–100 метров, поступившие с полярно-орбитального спутника «Метеор-М» № 2 [2] в период июнь – август 2017 года (рис. 1).

Следуя работе [1], отметим, что таяние ледяного покрова в Карском море начинается в его юго-западной части (включающей Новоземельский ледовый припай) в среднем в конце мая. В июне вытаивают молодые и однолетние тонкие льды в полыньях и в разводьях, а также частично однолетние средние льды. В процессе таяния ледяного покрова происходят взлом, постепенное разрушение припая и распадение его на обширные дрейфующие поля. Раньше всего припай начинает разрушаться в Амдерминском районе, где он в 80% случаев окончательно разрушается в течение июня.

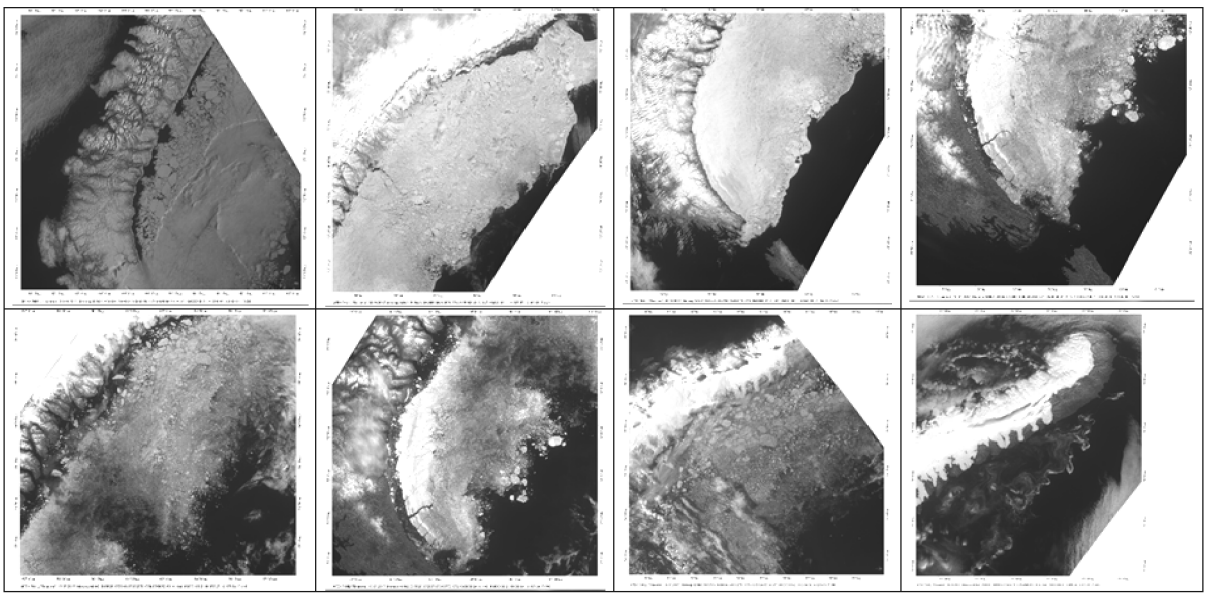


Рис. 1. Космические изображения Новоземельского ледового припая Архипелага Новая Земля (июнь – август 2017 года), полученные с полярно-орбитального спутника «Метеор-М» № 2

(Fig. 1. Space images of the Novaya Zemlya ice breakup (Novaya Zemlya Archipelago, June-August, 2017), received from the «Meteor-M» #2 polar orbiting satellite)

В основном в середине июля взламывается припай вдоль Ямальского побережья и в Обь-Енисейском районе. К концу июля половина юго-западной части моря под влиянием тепловых и динамических процессов очищается ото льда. В конце августа – начале сентября в 80% случаев этот район полностью освобождается ото льда. В прибрежных районах таяние льда происходит более интенсивно, чем в мористых районах. Поэтому в июне – июле в юго-западной части моря лед в среднем располагается в центральных районах.

По результатам визуально-инструментального дешифрирования представленных на рис. 1 разновременных изображений Новоземельского припая были отобраны фрагменты изображений (рис. 2, *а*–*к*), степень разрушенности льда на которых составляла от 0 до 9 баллов. Отобранные изображения размером 1024×1024 пикселей были подвергнуты мультифрактальному анализу с использованием программного пакета Гео-ПК [3]. Полученные по результатам мультифрактального анализа спектры фрактальных размерностей представлены на рис. 2, *л*. Статистические и мультифрактальные характеристики, рассчитанные для каждого из изображений льдов, приведены в табл. 1 и 2.

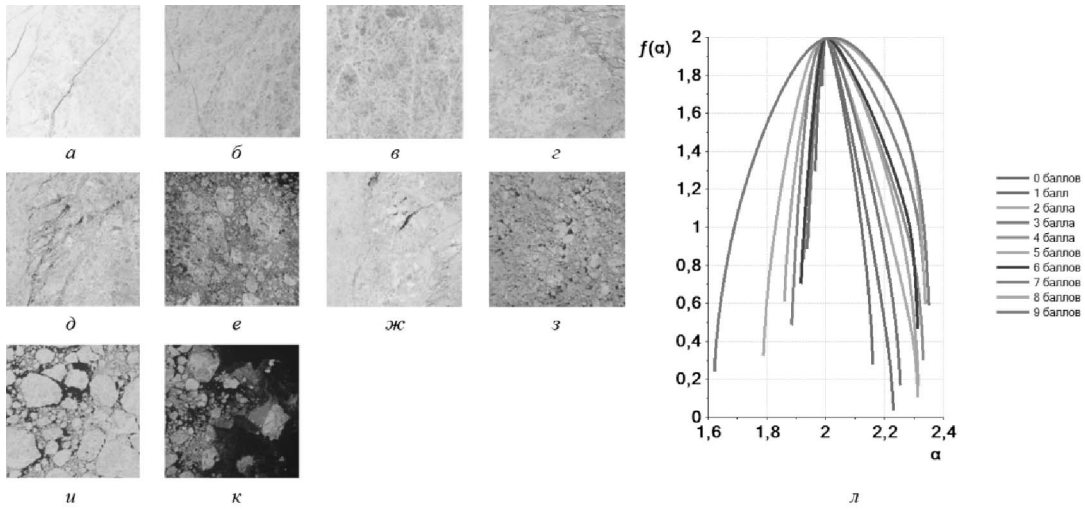


Рис. 2. Фрагменты космических снимков, демонстрирующих различные состояния тающего ледового покрова (*а* – 0 баллов, *б* – 1 балл, *в* – 2 балла, *г* – 3 балла, *д* – 4 балла, *е* – 5 баллов, *ж* – 6 баллов, *з* – 7 баллов, *и* – 8 баллов, *к* – 9 баллов), и соответствующие им мультифрактальные спектры (*л*)

(Fig. 2. Fragments of satellite images demonstrating different conditions of the melting ice cover (*a* – a score of 0 points, *b* – 1 score point, *c* – 2 points, *d* – 3 points, *e* – 4 points, *f* – 5 points, *g* – 6 points, *h* – 7 points, *i* – 8 points, *j* – 9 points), and the corresponding multifractal spectra (*k*)

Таблица 1

Статистические характеристики типовых изображений тающих льдов

Балл	Характеристика	Среднее значение	Среднее квадратичное отклонение	Контраст	Эксцесс	Асимметрия
0	Признаки таяния слабые	222,97	10,68	4,79	11,51	–1,93
1	Снежниц мало	164,32	12,48	7,59	3,87	–0,86
2	Снежниц много	175,55	15,67	8,93	3,08	–0,53
3	Затопленный лед	165,60	16,48	9,95	4,27	–0,80
4	Проталин мало	172,79	18,81	10,89	7,29	–1,49
5	Проталин много	110,47	30,58	27,68	2,81	–0,30
6	Обсохший лед	191,58	16,40	8,56	16,58	–2,48
7	Гнилой лед	130,85	22,40	17,12	4,45	–0,94
8	Раздробленный лед	152,03	39,36	25,89	3,97	–1,42
9	Разреженный лед	58,96	40,53	68,75	2,04	0,68

Таблица 2

Мультифрактальные характеристики типовых изображений тающих льдов

Балл	r	R	D_0	D_1	D_2	D_{40}	$\Delta_{40}D$	α_{min}	α_{max}	$\Delta\alpha$	$f(\alpha_{min})$	$f(\alpha_{max})$	Δf
0	0,11	–0,80	2,000	2,000	1,999	1,993	0,007	1,987	2,160	0,173	1,740	0,278	–1,463
1	0,25	–0,60	2,000	1,999	1,998	1,981	0,018	1,963	2,230	0,267	1,295	0,034	–1,261
2	0,28	–0,56	2,000	1,998	1,987	1,966	0,032	1,940	2,313	0,373	0,919	0,107	–0,812
3	0,33	–0,50	2,000	1,998	1,997	1,964	0,034	1,937	2,253	0,316	0,887	0,168	–0,718
4	0,26	–0,58	2,000	1,997	1,996	1,953	0,044	1,925	2,331	0,406	0,831	0,301	–0,530
5	0,51	–0,32	2,000	1,995	1,991	1,891	0,104	1,859	2,315	0,456	0,611	0,168	–0,443
6	0,27	–0,58	2,000	1,998	1,996	1,947	0,051	1,916	2,312	0,396	0,703	0,464	–0,239
7	0,33	–0,50	1,998	1,992	1,987	1,920	0,072	1,884	2,335	0,451	0,485	0,674	0,189
8	0,59	–0,26	1,996	1,985	1,977	1,826	0,159	1,788	2,338	0,550	0,322	0,597	0,275
9	1,07	0,03	1,996	1,972	1,946	1,658	0,314	1,622	2,350	0,728	0,241	0,588	0,347

Из табл. 1 видно, что на основании анализа статистических характеристик (среднее, среднее квадратичное отклонение, контраст, эксцесс, асимметрия) изображений разрушающихся льдов нельзя построить интервальные оценки эти характеристик, однозначно определяющих балльность (степень разрушения) таящих льдов. Аналогичное можно сказать и относительно большинства из рассмотренных мультифрактальных характеристик (табл. 2):

- величин r и R, характеризующих асимметрию спектра $f(\alpha)$;
- величин D_0, D_1, D_2 и D_{40}, соответствующих обобщенным фрактальным размерностям (фрактальной, информационной, корреляционной и др.);
- величин $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$, соответствующих минимальному и максимальному значениям гельдеровской экспоненты α; $\Delta\alpha = \alpha_{max} - \alpha_{min}$ и $\Delta_{40}D = D_1 - D_{40}$.

Особого внимания заслуживает параметр $\Delta f = f(\alpha_{max}) - f(\alpha_{min})$. Как видно из табл. 2, можно построить интервальную оценку параметра Δf, которая позволит однозначно определить балльность ледового поля. Информативность мультифрактальной характеристики Δf проверялась нами на 52 фрагментах космических изображений Карского моря, полученных в летний период 2017 года. Поскольку представительность фрагментов, отображающих лед различной степени разрушенности, сильно варьировалась, предполагается в дальнейшем продолжить данные исследования с целью определения статистически значимых интервалов значений параметра Δf для установления балльной оценки степени разрушенности льда.

Визуально-инструментальное дешифрирование разновременных космических снимков исследуемого ледового припая указывает на ярко выраженную неоднородность интенсивности процесса таяния льда, что в ряде случаев делает неэффективным использование интегральных характеристик для описания таяния рассматриваемого припая. В этих случаях целесообразно применять локальный мультифрактальный анализ, описанный нами в работе [3].

Выводы

В работе проиллюстрирована возможность использования мультифрактального анализа для описания процесса таяния ледового покрова на примере Новоземельского ледового припая. По результатам исследований могут быть сделаны следующие выводы: в процессе таяния пространственная структура исследуемого ледового покрова претерпевает существенные изменения, что получает отражение в значениях его мультифрактальных характеристик; к числу наиболее информативных мультифрактальных параметров, характеризующих трансформацию пространственной структуры ледового объекта, можно отнести параметры $f(\alpha_{max})$ и Δf; значения параметров $f(\alpha_{min})$ и Δf по мере нарастания деформации ледового покрытия статистически значимо изменяются, что позволяет использовать их в качестве интегральных характеристик ледовой обстановки; параметр Δf может быть использован для установления балльной оценки степени разрушенности льда.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Литература

1. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 7. Карское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. С. 6–90.

2. Дворкин Б.А., Дудкин С.А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // Геоматика. 2013. № 2. С. 16–39.

3. Малинников В.А., Учаев Д.В., Учаев Дм.В. Разработка метода обобщенного локально-глобального мультифрактального анализа изображений для исследования пространственной структуры сложных природно-антропогенных систем // Известия вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 2010. № 4. С. 64–68.

4. Номенклатура морских льдов, условные обозначения для ледовых карт. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 86 с.

References

1. *Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoi zony morei SSSR. T. 7. Karskoe more* [Hydrometeorological conditions offshore zone seas of the USSR. Vol. 7. Kara Sea]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980, pp. 6–90 (in Russian).

2. Dvorkin B.A., Dudkin S.A. The newest and advanced remote sensing satellites. *Geomatika*, 2013, no. 2, pp. 16–39 (in Russian).

3. Malinnikov V.A., Uchaev D.V., Uchaev Dm.V. The newest and advanced remote sensing satellites. *Izvestiya vuzov. Ser. Geodeziya i aerofotos"emka*, 2010, no. 4, pp. 64–68 (in Russian).

4. *Nomenklatura morskikh l'dov, uslovnye oboznacheniya dlya ledovykh kart* [Sea ice nomenclature, symbols for ice charts]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 86 p. (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Малинников Василий Александрович
доктор технических наук, профессор,
Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
(*105064, г. Москва, Гороховский пер., 4*)
malinnikov@mail.ru

Vasiliy A. Malinnikov
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Moscow State University of Geodesy and Cartography
(*4 Gorokhovsky pereulok, Moscow, 105064 Russia*)
malinnikov@mail.ru

Савиных Виктор Петрович
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Московский государственный университет геодезии и картографии
(*105064, г. Москва, Гороховский пер., 4*)

Viktor P. Savinykh
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS, Moscow State University of Geodesy and Cartography
(*4 Gorokhovsky pereulok, Moscow, 105064 Russia*)

Учаев Дмитрий Валентинович
кандидат технических наук,
Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
(*105064, г. Москва, Гороховский пер., 4*)
D-Uchaev@yandex.ru

Dmitriy V. Uchaev
Candidate of Technical Sciences,
Moscow State University of Geodesy and Cartography
(*4 Gorokhovsky pereulok, Moscow, 105064 Russia*)
D-Uchaev@yandex.ru

Учаев Денис Валентинович
кандидат технических наук,
Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
(*105064, г. Москва, Гороховский пер., 4*)

Denis V. Uchaev
Candidate of Technical Sciences, Moscow State University of Geodesy and Cartography
(*4 Gorokhovsky pereulok, Moscow, 105064 Russia*)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 550.834

ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОНОД ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ШЕЛЬФЕ И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

М.Р. Либерзон, Д.А. Ильинский, П.Г. Погородний, С.Б. Шаренков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

Резюме: *Статья посвящена новой российской технологии ГЕОНОД, которая ни в чем не уступает, а по многим параметрам превосходит существующие и применяющиеся в настоящее время технологии сейсморазведки. Показано применение технологии ГЕОНОД для сейсморазведки углеводородов на морском шельфе и обнаружения морских надводных и подводных судов. Самой распространенной технологией морской сейсморазведки является применение донных станций на фале (верёвке). Первые разработки донных станций на фале начались в 70-е годы прошлого века и не предполагали средств автоматизации работ с донными станциями. Использование станций на фалах приводит к ряду негативных явлений, например зацеплению фала за неровности дна и возможным препятствиям, что влечет потерю или порчу станций, обрыв фала и т.п. Разработанная в течение последних десяти лет новая российская технология ГЕОНОД позволяет решить указанные и многие другие проблемы. В 2011–2012 годах технология ГЕОНОД была апробирована в реальных условиях. На Международной конференции «Шельф России 2012» она была признана лучшей геологоразведочной технологией в мире. Уникальные свойства технологии ГЕОНОД позволяют осуществлять ее применение в сложных условиях, когда другие технологии применять невозможно, в том числе рядом с нефтяными платформами, районами активного судоходства, рыболовства, с препятствиями на дне (скалы, трубопроводы, затонувшие суда), при волнениях любой балльности, в условиях приливно-отливных явлений, на глубинах от 0 до 7000 метров. Апробация технологии показала, что кроме сейсморазведки углеводородов на шельфе она эффективно используется при решении актуальных задач создания мобильной технологии дальнего и скрытого обнаружения для идентификации различных надводных и подводных судов, в том числе нелегальных, на основе пассивных донных наблюдений акустического и сейсмического волнового поля.*

Ключевые слова: *сейсморазведка, донные станции, шельф, углеводороды, обнаружение объектов.*

Для цитирования: *Либерзон М.Р., Ильинский Д.А., Погородний П.Г., Шаренков С.Б. Технология ГЕОНОД для сейсморазведки углеводородов на шельфе и обнаружения объектов // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 75–81.*

GEONOD TECHNOLOGY FOR OFF-SHORE SEISMIC HYDROCARBON EXPLORATION AND OBJECT DETECTION

M.R. Liberzon, D.A. Ilyinsky, P.G. Pogorodny, S.B. Sharenkov

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. *The present paper discusses the new Russian GEONOD technology which has shown performance results, by many parameters superior to those of traditionally applied seismic exploration technologies. The authors demonstrate the application of the GEONOD technology for off-shore seismic hydrocarbon exploration, as well as for detection of surface and subsurface vessels. The most wide-spread technology for marine seismic prospecting is the use of towed seafloor stations. The first efforts to create towed seafloor stations began in the 1970s and did not involve any development of modern means of automatization. Besides the lack of advanced operation technologies, traditional towed stations are susceptible to the influence of many negative factors. For example, halyards may get caught or broken by bumps or other impeding objects on the sea bottom, with a resulting loss of or damage to the stations, etc. The new Russian GEONOD technology developed over the last decade and based on the use of self-surfacing seafloor stations, allows to resolve the above-mentioned problems and successfully deal with many others. In 2011-2012, the technology was tested in real conditions. At the Russian Shelf 2012 international conference, it was recognized as the best geological exploration technology in the world. The unique properties of the GEONOD technology make it applicable to difficult conditions, when other technologies cannot be used, including in cases of proximity to oil platforms and areas of dense naval traffic and fishing activities, in the presence of obstacles on the sea bottom (rocks, pipelines, sunken ships), in rough sea of any scale, in tidal conditions, and at water depths ranging from 0 to 7000 meters. At present, there is a well-developed and constantly improving park of autonomous 4-component self-surfacing seafloor seismic stations. This park has been tested in a number of research and development projects, including, among others, a study of the Indian Ocean core for the Indian Academy of Sciences, investigation of seismic activity in the construction zone of the Kerch bridge, and hydrocarbon exploration projects for the Lukoil and Rosneft oil companies. The testing of the GEONOD technology has shown that besides applications in offshore seismic hydrocarbon exploration, it can be used effectively in the development of a mobile early and covert detection technology for identifying surface vessels and submarines, including illegal ones, on the basis of passive seafloor observations of the acoustic and seismic wave field.*

Key words: *seismic prospecting, seabed stations, hydrocarbons, object detection.*

For citations: *Liberzon M.R., Ilyinsky D.A., Pogorodny P.G., Sharenkov S.B. GEONOD Technology for Off-shore Seismic Hydrocarbon Exploration and Object Detection. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 75–81.*

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Технология ГЕОНОД

В связи с тем, что эксплуатация аппаратуры и бурение скважин для добычи нефти и газа из месторождений под морским дном, то есть на морском шельфе, обходится в сотни раз дороже, чем на суше, предварительная разведка возможных месторождений на шельфе необходима и производится неукоснительно. На рис. 1 показаны буровые установки, применяющиеся на шельфе, и стандартная аппаратура.

В течение последнего десятилетия в России разработана, апробирована и применена в реальных условиях новая технология ГЕОНОД сейсморазведки углеводородов на шельфе моря, ни в чем не уступающая существующим и повсеместно применяющимся зарубежным технологиям, а по ряду ключевых параметров превосходящая их. Технология ГЕОНОД основана на применении самовсплывающих донных станций, в конструкции которых используется ряд уникальных разработок. На рис. 2 показан общий вид станции ГЕОНОД.

Известные и повсеместно используемые технологии сейсморазведки базируются на работе специальных донных станций.

Станции опускаются на дно и расставляются на некоторой площади. С поверхности специальное судно излучает акустический сигнал. Расположенная на дне станция принимает прямой сигнал от судна и отраженный от морского дна. Эти сигналы записываются станцией. Затем она поднимается на поверхность, записанные сигналы передаются на специальный сервер, который на основе сравнения записанных станцией прямого и отраженного от морского дна акустических сигналов определяет плотность породы и наличие пустот под морским дном в исследуемом месте, то есть вероятность существования месторождений нефти и газа. После этого станции перевозятся на соседний участок морского шельфа, и сейсморазведка осуществляется на нем. В результате создается карта исследованного шельфа с указанием участков вероятных месторождений нефти и газа и объемов этих месторождений.

Все использующиеся в мире технологии сейсморазведки на шельфе предполагают, что по окончании работы станции на морском дне ее необходимо поднять на поверхность с помощью фала (веревки), а затем на палубе судна вскрыть корпус станции, подсоединить

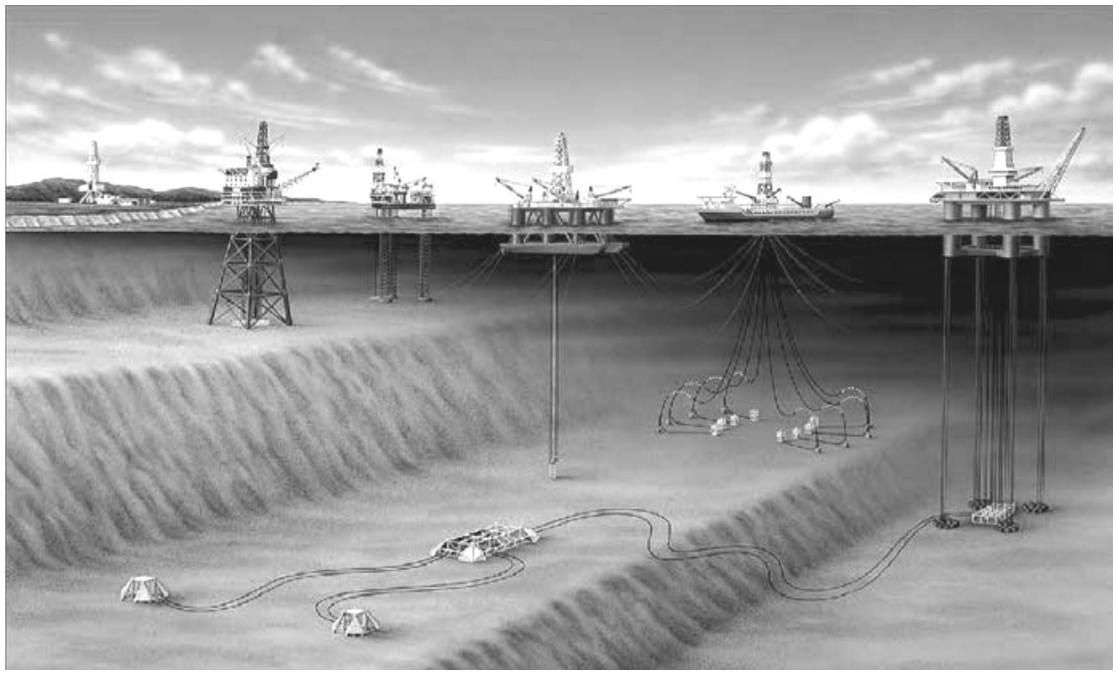


Рис. 1. Буровые установки на шельфе
(Fig. 1. Offshore drilling rigs)

Рис. 2. Общий вид станции ГЕОНОД
(Fig. 2 General view of the GEONOD station)

провода и переписать на сервер информацию со станции. Преимущество станции ГЕОНОД состоит в том, что ее корпус изготовлен из радиопрозрачного материала в отличие от станций, применяющихся в других технологиях. Станция ГЕОНОД, оказавшись на поверхности воды, сразу же передает информацию на сервер дистанционно сквозь радиопрозрачный корпус.

Особое значение имеет тот факт, что технология ГЕОНОД не использует фалы для опускания, подъема и перемещения станций, без чего не может обойтись ни одна другая технология. Некоторые негативные явления, возникающие в результате использования фалов, упомянуты выше в аннотации.

Возможность отказаться от применения фалов предоставляет уникальная разработка, которая внедрена и используется в технологии ГЕОНОД. Схематически конструкция станции ГЕОНОД показана на рис. 3.

Станция снабжена грузом-якорем, который изготовлен из спрессованного морского песка, то есть из экологически чистого материала. Механизм, соединяющий станцию с грузом-якорем, представляет собой механическое реле, которое размыкается при получении акустического сигнала определенной частоты. При сбрасывании станции в воду груз-якорь погружает ее на дно и удерживает в нужном месте нужное время. После того как станция собрала необходимые данные, с поверхности посылается специальный акустический сигнал с частотой, на которую настроен механизм размыкания соединения станции с грузом-якорем. Происходит размыкание, станция всплывает, а груз-якорь остается на дне и в течение короткого времени (обычно это 15-20 дней) бесследно растворяется. Механизм размыкания каждой отдельной станции настроен на свою собственную частоту размыкания, что позволяет давать станциям команды на всплытие поочередно для более удобного их сбора на поверхности.

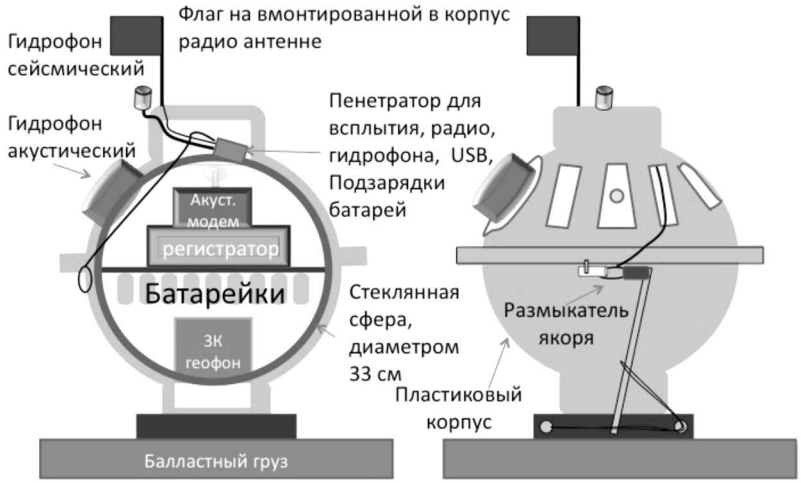


Рис. 3. Конструктивная схема станции ГЕОНОД
(Fig. 3. A constructive scheme of the GEONOD station)

На рис. 4 частично показан ряд существенных преимуществ, которыми технология ГЕОНОД обладает по сравнению с другими технологиями сейсморазведки.

Еще раз укажем некоторые из них: отсутствие фалов, малое энергопотребление, беспроводное соединение с пользователем для копирования данных и проверки станции, задание параметров сбора данных, гидроакустический канал связи (до 10 км) для передачи команд всплытия и позиционирования местоположения станции на дне, саморазлагающийся на дне после всплытия станции экологически чистый якорь, наличие широкополосных геофонов и гидрофонов. Существенным преимуществом технологии ГЕОНОД является то, что производство станций ГЕОНОД обходится, как минимум, в два раза дешевле производства других станций.

В настоящее время имеется хорошо разработанный и постоянно совершенствующийся парк автономных самовсплывающих донных 4-компонентных сейсмических станций. Парк донных станций ГЕОНОД был испытан в ряде научных и производственных проектов, среди которых проведение 2Д донной сейсмической съемки в объеме 800 погонных км в Аравийском море для Индийской компании ONGC; проведение глубоководного проекта по изучению строения коры Индийского океана (глубины 4,5 км) для Института Арктики и Антарктики Индийской Академии наук (NCAOR);

Показатель	СЕЙСМО-ШЕЛЬФ Россия	Fairfield Nodal Z700 США	Fairfield Nodal Z3000 США	Seabird CASE Abyss Норвегия	CGGVeritas Trilobit Франция	Geospace Technologies OBX США	**ГЕОНОД**
Тип прибора	Развертывание свободное падение	Соединяется при помощи фала	Развертывание с помощью роботов	Развертывание с помощью роботов	Развертывание с помощью роботов	Соединяется при помощи фала	Развертывание свободное падение
Допустимые глубины работ	0–500 м	0–700 м	0–3000 м	0–3000 м	0–3000 м	0–3450 м	0–7000 м
Снаряженная масса одного прибора	32,5 кг	30 кг	97 кг	150 кг	59 кг	15,9 кг	23 кг
Автономное время работы	30 дней	15 дней	60 дней	60 дней	75 дней	30 дней	90 дней
Требование к судну	Любое	Требует адаптации	Требует адаптации	Специальное	Специальное	Специальное	Любое
Передача прибора лаборатории судна	После каждого развертывания или восстановления	После каждого развертывания или восстановления	После каждого развертывания или восстановления	После каждого развертывания или восстановления	После каждого развертывания или восстановления	После каждого развертывания или восстановления	Свободный режим
Скачивание	Проводное	Проводное	Проводное	Проводное	Проводное	Проводное	Беспроводное
Качество сейсмических данных	Полный азимут 4 компонента	Полный азимут 4 компонента	Полный азимут 4 компонента	Узкий азимут 1 компонент	Узкий азимут 1 компонент	Узкий азимут 1 компонент	Полный азимут 4 компонента
Производительность в сутки, км^2	5 км^2	2 км^2	1,2 км^2	1,2 км^2	1,2 км^2	2 км^2	10 км^2

Рис. 4. Сравнение технологий сейсморазведки на шельфе

(Fig. 4. Comparison of seismic technologies on the shelf)

изучение сейсмической активности в районе строительства Керченского моста летом 2014 года с помощью долгосрочных пассивных наблюдений на дне Керченского пролива (по заказу Института Физики Земли РАН и ОАО ГипроТрансМост); проведение 2Д съемки в транзитной зоне акватории Хайпудырской губы в Печерском море по заказу ПАО Лукойл; создание и испытания широкополосной донной сейсмической станции реального времени, заказ Института Океанологии имени П.П. Ширшова РАН по гранту Минпромторга России; пассивные наблюдения на шельфе Сахалина для прямых поисков углеводородов, три профиля по 7,8 км, заказ ООО РН Шельф-Арктика, Россия; глубоководный 2Д проект 700 км через Андаманские острова (Индия); глубины от 200 м до 4,3 км, 63 постановки станций, заказ национального Геофизического Исследовательского Института, Индия, применялись для разведки месторождений углеводородов в транзитных зонах и зонах предельного мелководья для Российских нефтяных компаний Лукойл и Роснефть.

Обнаружение объектов

Использование технологии ГЕОНОД для обнаружения подводных и надводных морских судов очень эффективно и решает одну из насущных проблем обеспечения безопасности водных границ.

Проблема скрытого обнаружения нежелательной судоходной активности в территориальных и экономических водах Российской Федерации стоит в первом ряду среди проблем по охране госграницы и экономической безопасности. РФ имеет самую протяженную в мире морскую границу. Эта граница находится на 80% в необитаемых и малонаселенных местах, там, где на несколько сотен километров нет населенных пунктов. В силу этих обстоятельств задача по плотному прикрытию обширных водных пространств средствами слежения за нежелательной активностью на море требует большого количества точек наблюдения. Поэтому актуальной является задача применения недорогих и надежных средств обнаружения, которые можно устанавливать в большом количестве на огромных пространствах всей периферии морской границы РФ. Средства должны иметь большую автономность и надежность. Для сообщений о нежелательной активности в квазиреальном времени средства обнаружения и идентификации используют современные средства спутниковой связи.

Актуальной является также задача по увеличению эффективного радиуса обнаружения нежелательной активности на основе сейсмоакустических донных измерений для существенного снижения количества точек наблюдений и уменьшения стоимости всей системы защиты в целом.

Ввиду специфики морской среды часто требуются документальные доказательства пребывания определенного объекта в запрещенном для него районе. Предлагаемая система записывает как в черном ящике самолета всю активность в районе наблюдений и эти записи потом можно будет предъявлять как доказательства при разрешении различных экономических, политических и военных споров в различных международных арбитражах и судах.

Проблема долгосрочных автономных донных наблюдений и мгновенных сообщений об обнаружении интересующего объекта может быть решена на основе использования достижений современных информационных технологий (малопотребляющая элементная база, современные источники питания, спутниковые каналы связи, спутниковые навигационные системы) и опыта разработки подводной донной техники, устройств всплытия/погружения наблюдательной станции на дно.

Накоплен большой массив пассивных донных наблюдений на дне морей и океанов. На сейсмоакустических записях донных станций всегда хорошо видны все искусственные объекты, движущиеся с разными скоростями относительно наблюдательной станции на больших расстояниях от нее. Сигнал, распространяющийся по земле, имеет большую дальность из-за более низкого уровня природного шума в земле по сравнению с водной средой, где для выделения полезного сигнала надо применять многоканальный

системы наблюдений из большого числа каналов. Наличие трехкомпонентного геофона позволяет определять пеленг на объект без использования многоканальной гидроакустической антенны, что позволяет существенно уменьшить габариты донной станции для наблюдения за объектами и соответственно ее стоимость. Трудности были в обеспечении длительного интервала наблюдений (автономности), что сейчас преодолевается с появлением новой элементной базы и компактных средств хранения больших массивов информации.

Развитие подводных технологий позволяет в настоящее время сделать станцию слежения, способную многократно всплывать, передавать данные и опускаться на дно для продолжения работы по слежению за подводными объектами.

Движущийся в водной среде объект создает акустический сигнал, распространяющийся по воде и по дну, который записывается на станции слежения, находящейся на дне. В силу меньшего общего шума в твердой среде по сравнению с водной, сигнал от объекта, распространяющийся по земле, в отличие от сигнала, распространяющегося по воде, можно слышать на больших расстояниях. Каждый объект имеет свой акустический портрет излучаемого сигнала при его движении. Идентифицируя тип объекта по его сигналу, можно его выделить.

Современные ИТ позволяют создать станцию слежения с большой автономностью, технологии и материалы позволяют реализовать систему многоразового всплытия. Спутниковые технологии позволяют следить за местоположением станции и объектов, передавать информацию об обнаруженном объекте.

Имеющийся опыт в разработке и применении в реальных условиях донных стационарных систем наблюдений позволяет реализовать проект на основе технологии ГЕОНОД.

Выводы

Разработанная группой российских специалистов новая технология ГЕОНОД, несомненно, является в настоящее время наиболее передовой среди технологий, основанных на использовании сейсмических донных станций.

Технология ГЕОНОД может эффективно использоваться как для разведки месторождений углеводородов на шельфе моря, так и для обнаружения объектов на поверхности и под водой.

Технология ГЕОНОД продолжает совершенствоваться и развиваться её разработчиками. В эту работу включаются все новые группы ученых, конструкторов, инженеров, так как для эффективного использования технологии ГЕОНОД решения требуют все новые задачи механики, автоматического управления, информационных технологий, космических спутниковых систем.

Литература

1. Ильинский Д.А., Либерзон М.Р., Шаренков С.Б. Комплексный подход к проведению сейсморазведки на шельфе при помощи автономных самовсплывающих донных станций // Булатовские чтения: тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2017.

2. Либерзон М.Р., Ильинский Д.А., Погородний П.Г., Шаренков С.Б. Проблемы прикладной механики при применении технологии ГЕОНОД сейсморазведки на шельфе // Проблемы механики и управления: тез. докл. 1-й Междунар. конф. Махачкала, 2018.

3. Либерзон М.Р., Ильинский Д.А., Погородний П.Г., Шаренков С.Б. Мониторинг акваторий в удаленных районах на основе технологии ГЕОНОД // Пленарные и избранные доклады 9-й Междунар. аэрокосмического конгресса. М., 2018.

References

1. Ilinskii D.A., Liberzon M.R., Sharenkov S.B. *Kompleksnyi podkhod k provedeniyu seismorazvedki na shel'fe pri pomoshchi avtonomnykh samovsplyvayushchikh donnykh stantsii* [An integrated approach to seismic exploration on the continental shelf using an Autonomous bottom stations subsplash]. In: *Bulatovskie chteniya: tr. 1-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf*. [Proc. of 1st Int. Sci. Conf. «Bulatov's reading»]. Krasnodar, 2017 (in Russian).

2. Liberzon M.R., Il'inskii D.A., Pogorodnii P.G., Sharenkov S.B. *Problemy prikladnoi mekhaniki pri primenenii tekhnologii GEONOD seismorazvedki na shel'fe* [Applied mechanics problems in the application of seismic GEONOD technology on the shelf]. In: *Problemy mekhaniki i upravleniya: tez. dokl. 1-i Mezhdunar. konf*. [Proc. of Int. Sci. Conf. «Problems of mechanics and control»]. Makhachkala, 2018 (in Russian).

3. Liberzon M.R., Il'inskii D.A., Pogorodnii P.G., Sharenkov S.B. *Monitoring akvatorii v udalennykh raionakh na osnove tekhnologii GEONOD* [Monitoring of waters in remote areas based on the technology of GEONOD]. In: *Plenarnye i izbrannye doklady 9-i Mezhdunar. aerokosmicheskogo kongressa* [Plenary and selected papers of the 9th Int. Aerospace Congress]. Moscow, 2018 2018 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Либерзон Марк Романович
доктор физико-математических наук, профессор,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
mark@fund.ru

Ильинский Дмитрий Анатольевич
кандидат физико-математических наук,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)

Погородний Петр Геннадьевич
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)

Шаренков Сергей Борисович
кандидат экономических наук,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)

Mark R. Liberzon
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993 Russia*)
mark@fund.ru

Dmitriy A. Ilyinsky
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Moscow Aviation Institute (National Research University) (*4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993 Russia*)

Petr G. Pogorodny
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993 Russia*)

Sergey B. Sharenkov
Candidate of Economics Sciences,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993 Russia*)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Подготовка космонавтов / Cosmonaut Training

УДК 629.78.08

РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ: ПРОШЛОЕ, СОВРЕМЕННОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

П.Н. Власов, М.М. Харламов, А.А. Курицын, И.Г. Сохин, Б.И. Крючков

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», г. Москва, Россия

Резюме: *Созданный в 1960 году Центр подготовки космонавтов (ЦПК) является уникальной формой подготовки специалистов для пилотируемой космонавтики. За годы своего существования он претерпел качественные изменения. В 2011 году создан единый Отряд космонавтов Роскосмоса, что позволило осуществить единую кадровую политику, координировать работы по международным программам. В 2012 году впервые в отечественной практике была разработана и реализована методика открытого конкурсного отбора кандидатов в космонавты РФ. В эти же годы в ЦПК создан Космоцентр, который представляет собой единый интегрированный программно-технический обучающий комплекс, использующий современные информационные технологии. Разработанная Центром уникальная методика подготовки космонавтов включает в себя научную обоснованность, уникальность квалификации персонала, развитую техническую базу, программно-методическое обеспечение и систему планирования, в совокупности обеспечивающие высокое качество подготовки космонавтов. В последние годы она существенно усовершенствована. Исследование этапов развития ЦПК показывает, что при этом сохраняется его основная черта – приобретение первичного «космического» опыта в наземных условиях. Сегодня это тренажеры, которые являются единым целым в совокупности с исследовательскими и моделирующими стендами, учебно-тренировочными самолетами, средствами для выполнения работ под водой, барокамерами, сурдокамерами и многими другими техническими средствами. На протяжении 57 лет существования ЦПК в нем подготовлены сотни специалистов из 28 стран. Выполнено множество национальных и международных пилотируемых программ, в том числе таких национальных программ, как «Восток», «Восход», «Союз», лунных программ 7К-Л1и Н1-Л3, «Алмаз», «Буран», «Салют», «Мир». Одной из первых в 70-е годы прошлого века была международная программа «Союз – Аполлон». Затем были реализованы международные программы ЭПАС, «Интеркосмос», «Евромир-95», «Евромир-97», «Мир – Шаттл», «Мир – НАСА», программа МКС. Сегодня Центр нацелен на подготовку российских и иностранных космонавтов (астронавтов) для Международной космической станции и обеспечения межпланетных космических полетов, целью которых является освоение Луны и дальнего космоса.*

Ключевые слова: *Центр подготовки космонавтов (ЦПК), отряд космонавтов, методика подготовки космонавтов, тренажеры, моделирующие стенды, технические средства, космические программы освоения Луны и дальнего космоса.*

Для цитирования: *Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А., Сохин И.Г., Крючков Б.И. Российская система подготовки космонавтов: прошлое, современность и перспективы развития // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 82–86.*

THE RUSSIAN SYSTEM OF COSMONAUT TRAINING: PAST, PRESENT, AND FUTURE PROSPECTS

P.N. Vlasov, M.M. Kharlamov, A.A. Kuritsyn, I.G. Sokhin, B.I. Kriuchkov

State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center», Zviozdny Gorodok (Star City), Russia

Abstract: *The article examines the evolution of the system of cosmonaut training in Russia since the founding in 1960 of the Cosmonaut Training Centre at Zviozdny Gorodok (Star City) near Moscow. During this period, CTC has functioned as a unique training facility which has made an outstanding contribution to the field of space exploration. More recently, it has gone through a series of changes, the most important of which have been the setting up of a unified Cosmonaut Corps and the new open competition-based method of CC candidate selection, as well as the establishment of the Kosmocentre, an integrated programmatic and technical test and training complex utilizing advanced information technologies.*

The Centre's unique method of training is a combined product of scientific validity, exceptional personnel qualifications, a well-developed technical base with a solid program and methodological support, and a planning system which, together, ensure the highest quality of cosmonaut preparation. The undertaken study of the stages of CTC's development demonstrates that acquisition of primary "space" experience in earth conditions by future cosmonauts is still the Centre's primary focus. The task is achieved with the help of different kinds of trainers working as a single whole with research and modeling stands, training aircraft, underwater equipment, barochambers, surdochambers, and other technical devices.

During the 57 years of its existence, CTC has trained hundreds of specialists from 28 countries and implemented a lot of national and international piloted programs. Today, the Centre is targeted to train Russian and foreign cosmonauts and astronauts for the International Space Station and for interplanetary spaceflights involved in the moon and deep space exploration.

Key words: *The Cosmonaut Training Centre (CTC), the Cosmonaut Corps, methods of cosmonaut training, trainers, modeling stands, technical devices, the moon and deep space exploration*

For citations: *Vlasov P.N., Kharlamov M.M., Kuritsyn A.A., Sokhin I.G., Kriuchkov B.I. The Russian System of Cosmonaut Training: Past, Present, and Future Prospects. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 82–86.*

В конце 1959 года по ходатайству С.П. Королёва и Главнокомандующего ВВС К.А. Вершинина принимается правительственное решение о создании в ВВС специального Центра подготовки человека к полётам в космос. На основе этого решения от 11 января 1960 года Главком ВВС издал директиву № 321141, которой были определены организационно-штатная структура Центра подготовки космонавтов (ЦПК) и общая численность личного состава. Таким образом, датой «рождения» Центра подготовки космонавтов считается 11 января 1960 года.

Наиболее сложным был начальный, организационный этап работы, поскольку начинать нужно было практически с «нуля». В начале марта 1960 года первая группа (первого отряда) слушателей-космонавтов прибыла на центральный аэродром имени М.В. Фрунзе. 14 марта 1960 года с ними было проведено первое занятие по общекосмической подготовке. Подготовка первых слушателей-космонавтов складывалась из теоретических занятий, тренировок на различных стендах и практических занятий в ОКБ С.П. Королёва, где создавались космические корабли.

За 57 лет своего развития советская и российская система отбора и подготовки космонавтов превратилась в зрелую систему, имеющую высокий авторитет не только у нас в стране, но и среди иностранных и международных космических агентств. Ее отличительные особенности: научная обоснованность, уникальность квалификации персонала, развитые техническая база, программно-методическое обеспечение и система планирования, в совокупности, обеспечивающие высокое качество подготовки космонавтов.

За прошедшие время отечественная система отбора и подготовки космонавтов обеспечила эффективное выполнение множества национальных и международных пилотируемых программ, в том числе таких национальных программ, как «Восток», «Восход», «Союз», лунных программ 7К-Л1и Н1-Л3, «Алмаз», «Буран», «Салют», «Мир». Среди международных программ следует выделить ЭПАС, «Интеркосмос», «Евромир-95», «Евромир-97», «Мир – Шаттл», «Мир – НАСА», программу МКС.

Особенностью профессиональной подготовки космонавтов является необходимость приобретения первичного «космического» опыта в наземных условиях. Возможность обучения космонавтов в реальных условиях космического полета, как это происходит у летчиков, моряков, которые после первичной наземной подготовки приобретают профессиональный опыт деятельности на реальном самолете или корабле под руководством опытных наставников, практически отсутствует. В отличие от них космонавты должны приобретать «космический» опыт на наземных тренажерах, на которых моделируются условия деятельности экипажей космических кораблей и станций. Успех космического полета во многом определяется результатами подготовки космонавтов на тренажерах и стендах.

Если ранее задачи отбора и подготовки космонавтов в России выполнялись различными организациями и ведомствами, то сейчас, после создания в 2011 году на базе Центра единого Отряда космонавтов Роскосмоса, все они сосредоточены в ЦПК, что позволяет осуществлять единую политику не только при отборе и подготовке космонавтов, но и в формировании экипажей, послеполетной реабилитации, координации работ по международным программам, использовании опыта летавших космонавтов в создании новой КТ.

В 2012 году впервые в отечественной практике была разработана и реализована методика открытого конкурсного отбора кандидатов в

космонавты РФ. Если раньше при отборе космонавтов в основном проверялись медицинские и психологические параметры кандидатов, то теперь количество тестовых проверок значительно расширено. В их числе: осведомленность в сфере космонавтики; обучаемость; способность осваивать сложную технику; знание компьютера; знание иностранных языков; логическое мышление; физика; математика; литература, русский язык. Введена конкурсная система.

Специалистами Центра проводятся научные исследования по дальнейшему совершенствованию российской системы подготовки космонавтов. На основе научных изысканий постоянно совершенствуется программно-методическое обеспечение подготовки космонавтов. Кроме того, совершенствуются методические процедуры подготовки космонавтов в условиях моделируемой деятельности. Разработаны эффективные технологии тренажерной подготовки космонавтов, обеспечивающие заданное качество и надежность деятельности членов экипажей космических аппаратов в условиях полета. Проводятся научно-исследовательские работы в интересах обеспечения безопасности космических полетов.

За 57 лет своего развития советская и российская система отбора и подготовки космонавтов превратилась в зрелую, имеющую высокий авторитет не только у нас в стране, но и среди иностранных и международных космических агентств систему. Ее отличительные особенности: научная обоснованность, уникальность квалификации персонала, развитые техническая база, программно-методическое обеспечение и система планирования, в совокупности обеспечивающие высокое качество подготовки космонавтов. Всего подготовку в ЦПК прошло более 400 космонавтов и астронавтов. В нашей стране в космос слетали более 120 человек, а также на отечественных ПКА – более 80 иностранцев из 28 стран.

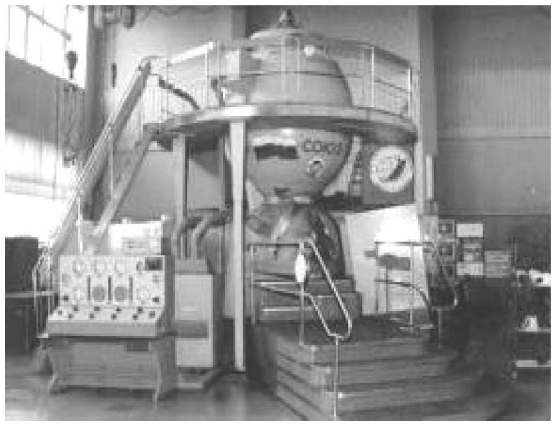
Система отбора, подготовки и реабилитации космонавтов взаимодействует со всеми элементами космической инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла пилотируемых космических программ: их формирования, проектирования и экспертизы космической техники, её испытаний, выполнения космических полетов, оценки их результатов, создания научно-технических заделов по перспективным космическим программам и т.п. При этом основными функциями системы, в которых Центру отводится роль головной организации в ракетно-космической отрасли, являются отбор, профессиональная подготовка и послеполетная реабилитация космонавтов.

На данный момент Центр продолжает вести интенсивную работу по подготовке российских и иностранных космонавтов (астронавтов) по программе Международной космической станции и обеспечению космических полетов. Одной из особенностей деятельности Центра в современных условиях является необходимость проведения подготовки экипажей в тесной связке с международными партнерами – участниками программы МКС (США, Канада, Япония, странами Евросоюза). При этом надо отметить, что международное сотрудничество в космосе началось еще в 70-е годы программой Союз – Аполлон.

Особый акцент в подготовке космонавтов сделан на подготовку к выполнению научной программы на МКС. На выполнение научной программы на борту МКС уходит в последние годы около 30% фактического рабочего времени космонавтов, при этом за экспедицию выполняется от 40 до 60 научных экспериментов.

Сегодня основными техническими средствами подготовки космонавтов являются специализированные и комплексные тренажеры транспортных кораблей «Союз» и орбитальных модулей российского сегмента Международной космической станции. Они созданы на базе полномасштабных макетов реальных изделий, оснащены современной системой имитации внешней визуальной обстановки, необходимым программным обеспечением, полным комплектом бортового оборудования (рисунок).

Тренажеры в совокупности с исследовательскими и моделирующими стендами, учебно-тренировочными самолетами, средствами для выполнения работ под водой, барокамерами, сурдокамерами и многими другими техническими средствами Центра позволяют в полной мере подготовить космонавтов по всем элементам космического полета.



Комплексные тренажеры по РС МКС и ТПК «Союз»
(Fig. Complex trainers for the ISS Russian Segment and for the «Soyuz» manned transport spaceships)

Для обеспечения процесса подготовки космонавтов, пропаганды пилотируемой космонавтики и реализации молодежных образовательных программ в области космонавтики в ЦПК создан Космоцентр, который представляет собой единый интегрированный программно-технический обучающий комплекс, реализованный с использованием современных информационных технологий.

Важным элементом обеспечения эффективного функционирования российской системы отбора и подготовки космонавтов является персонал Центра. В его состав входят: руководство и управленческий персонал Центра, научные сотрудники, инструкторско-преподавательский и инженерно-технический состав, специалисты по подводным работам, медицинские работники, летный и аэродромно-технический состав, специалисты по внешнеэкономической деятельности, административно-хозяйственный и производственный состав обеспечивающих подразделений Центра. Необходимо отметить, что специалистов по подготовке космонавтов в системе образования, существующей у нас в стране, не готовят. Поэтому на Центр ложится также обязанность их обучения и переподготовки.

Инновационное развитие Центра в настоящий период определяется перспективами развития пилотируемой космонавтики, которые характеризуются обеспечением более эффективного использования низких околоземных орбит, реализацией перспективных программ освоения Луны, отработкой ключевых технологий для подготовки и осуществления межпланетных полетов.

Для обеспечения реализации перспективных космических программ освоения дальнего космоса (Луна и дальний космос) потребуется дальнейшее развитие и совершенствование существующей системы отбора и подготовки космонавтов, модернизация тренажно-стендовой базы ЦПК с использованием современных технологий, развитие инфраструктуры Звездного городка.

Литература

1. Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А. Пилотируемые полеты: от Ю.А. Гагарина к МКС и полетам в дальний космос // Пилотируемые полеты в космос. 2011. № 2(2). С. 6–20.

2. Крикалёв С.К., Курицын А.А., Сохин И.Г. Перспективы и проблемы пилотируемой космонавтики в XXI веке // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 2011. № 1(32), т. 16. С. 1–7.

3. Крючков Б.И., Курицын А.А., Самарин В.В., Сиволап В.А. О Юрии Гагарине. Воспоминания и документы: сб. материалов / под ред. Ю.В. Лончакова. 2-е изд., перераб. и доп. Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2016.

4. Лончаков Ю.В., Крючков Б.И., Сохин И.Г. Эволюция научно-методической базы подготовки экипажей ПКА // Полеты в космос. История, люди, техника: материалы Первой науч.-практ. конф. Звездный городок; М., 2014.

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

References

1. Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A. Manned spaceflight: from Yu.A. Gagarin to the ISS and deep-space missions. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2011, no. 2(2), pp. 6–20 (in Russian).

2. Krikalev S.K., Kuritsyn A.A., Sokhin I.G. Prospects and challenges of manned space exploration in the 21st century. *Aktual'nye problemy aviatsionnykh i aerokosmicheskikh system*, 2011, no. 1(32), vol. 16, pp. 1–7 (in Russian).

3. Lonchakov Yu.V., ed., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A., Samarin V.V., Sivolap V.A. *O Yurii Gagarine. Vospominaniya i dokumenty: sb. Materialov. 2-e izd., pererab. i dop.* [About Yuri Gagarin. Memoirs and documents: collection of materials. 2nd ed.]. Zvezdnyi gorodok, Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, 2016 (in Russian).

4. Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I., Sokhin I.G. *Evolyutsiya nauchno-metodicheskoi bazy podgotovki ekipazhei PKA* [Evolution of the scientific-methodical base of training of crews of manned spacecraft]. In: *Polety v kosmos. Istoriya, lyudi, tekhnika: materialy Pervoi nauch.-prakt. konf*. [Proc. of 1st Sci. Pract. Conf. « Flight into space. History, people, technology»] Zvezdnyi gorodok, Moscow, 2014 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Власов Павел Николаевич
Герой Российской Федерации, начальник ЦПК, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Харламов Максим Михайлович
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Курицын Андрей Анатольевич
доктор технических наук,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
A.Kuricyn@gctc.ru

Сохин Игорь Георгиевич
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Крючков Борис Иванович
доктор технических наук,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
BKryuchkov@gctc.ru

Pavel N. Vlasov
Hero of the Russian Federation, Head of State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Maksim M. Kharlamov
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Andrey A. Kuritsyn
Doctor of Technical Sciences,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
A.Kuricyn@gctc.ru

Igor G. Sokhin
Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center» (*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Boris I. Kryuchkov
Doctor of Technical Science,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center» (*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
BKryuchkov@gctc.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

УДК 629.7:378(063)

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

П.Н. Власов, М.М. Харламов, А.А. Курицын, В.Е. Фокин, В.Г. Сорокин, В.Н. Кислицын

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина», г. Москва, Россия

Резюме: *В статье представлены цели, задачи, порядок, необходимость и перспективы использования авиационной техники для подготовки космонавтов к выполнению космического полета.*

С момента начала развития пилотируемой космонавтики авиация и космонавтика были и до сих пор очень тесно связаны. Подготовка космонавтов к космическому полету является чрезвычайно сложным многоплановым процессом, требующим формирования и поддержания у космонавтов знаний, навыков, умений и профессионально важных качеств, необходимых для успешного выполнения программы космического полета. Начиная с подготовки первого отряда космонавтов, авиационная техника использовалась для формирования профессиональных качеств, необходимых для выполнения космического полета. Космонавты в отряде космонавтов ЦПК имени Ю.А. Гагарина должны совершать полёты на учебных самолётах для формирования и поддержания уровня лётной подготовки, а также проходить специальную парашютную подготовку. Полеты на самолетах используются для моделирования условий невесомости. Время пребывания в условиях невесомости на каждой параболе 35–40 секунд, суммарное время составило 6–8 минут. В полетах изучались функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем, координация движений, острота зрения. Кроме того, изучалась возможность приема воды, твердой и пастообразной пищи, условия ведения радиосвязи (функция речи). При полетах на самолете ИЛ-76 МДК возможно моделирование не только условий невесомости, но и условий пониженной весомости, к примеру, лунной и марсианской силы тяжести. В статье представлена математическая модель создания условий пониженной весомости в салоне самолета-лаборатории. Данные математические выражения отражают аналитические зависимости между параметрами полета самолета-лаборатории, силами, действующими на различных участках полета, и кинематическими параметрами создаваемых условий пониженной весомости. Летчики авиационного отряда ЦПК уже в настоящее время сертифицированы и проводят полеты с моделированием режимов лунной весомости.

Специальная летная подготовка космонавтов формирует качества космонавтов, которые не могут быть сформированы в наземных условиях с использованием тренажеров. В процессе полетов на самолетах формируются и поддерживаются операторские навыки в условиях большого потока информации, сопряженного с дефицитом времени на принятие решения и реальными факторами полета, риском, стрессом, ответственностью за принятое решение в нештатных ситуациях на фоне сложно-совмещенной операторской деятельности. Также авиационная техника используется при проведении специальной парашютной подготовки космонавтов.

В перспективе с учетом планов освоения Луны и окололунного пространства целесообразно привитие космонавтам навыков управления вертолетом в целях подготовки к управлению лунным взлетно-посадочным комплексом.

Ключевые слова: *использование авиационной техники, подготовка космонавтов к выполнению космического полета, пилотируемая космонавтика, моделирование условий невесомости.*

Для цитирования: *Власов П.Н., Харламов М.М., Курицын А.А., Фокин В.Е., Сорокин В.Г., Кислицын В.Н. Цели и задачи использования авиационной техники в процессе подготовки космонавтов к выполнению космического полета // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 87–92.*

THE USE OF AVIATION TECHNOLOGY IN THE COSMONAUT TRAINING PROCESS

P.N. Vlasov, M.I. Kharlamov, A.A. Kuritsyn, V.E. Fokin, V.G. Sorokin, V.N. Kislitsyn

State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center», Zviozdny Gorodok (Star City), Russia

Abstract*: The article addresses the tasks, objectives, procedures, needs, and prospects for using aviation technology in space flight training. Since the launch of the Soviet space training program in 1959–1960, cosmonaut preparation has benefited a lot from advanced aviation. It is now established practice at the Yuri Gagarin Cosmonaut Training Centre that space cadets perform flights on training aircraft to develop and maintain an adequate level of flying competence. In the early days of the program, flights on specially re-equipped UTI-MiG-15 planes were used for modeling zero gravity environments for prospective cosmonauts. The flights also provided data for the study of the effect of space on human cardiovascular and respiratory systems, movement coordination, visual acuity, and ability to consume water and food, as well as conditions for radio communication. Later, with the appearance of the multi-man "Soyuz" spaceships, flying preparation expanded*

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

to include flights on cargo planes for training in the use of astronomic navigation equipment and in visual observation employing photo and video equipment, as well as training and tests in putting on a space suit, docking, and transfer to another spaceship carried out in a flying laboratory on the re-equipped TU-104 plane.

Laboratory aircraft, like SL-TU-134LK, are now being used for developing cosmonaut skills in visual and instrumental observations from a spacecraft. These flying labs allow to acquire skills in locating, detecting, identifying and recording ground, sea and air objects, processes and phenomena under space flight-like conditions, as well as develop skills in spatial orientation. Special flight training helps cosmonauts develop qualities which cannot be formed in earth conditions with the help of trainers. Training flights form and support operating skills in conditions of massive information flow paired with a deficit of time for decision making, real flight factors, risk, stress, and responsibility for the decision made in emergency situations on top of the routine complexities of the operating activity.

In view of the plans for the exploration of the Moon and the circumlunar space, aviation equipment is also used in special parachute training to enable cosmonauts to operate the ascent and descent stages of the lunar module. In flights on specialized IL-76 MDK aircraft currently used at the CTC, it is possible to model not only weightlessness, but also reduced gravity conditions of lunar or Martian environments. The article presents a mathematical model for creating conditions of reduced gravity in the cabin of a laboratory aircraft. The given mathematical expressions reflect analytical dependencies among the parameters of the laboratory aircraft flight, forces active in different segments of the flight, and kinematic parameters of the created reduced gravity conditions. The pilots of the CTC aviation corps are already certified and perform flights with modeling of lunar gravity regimes. Thus, the 57 years of space flight experience confirm the indispensability of aviation technology for cosmonaut training and justify the need to update the CTC aircraft park and purchase new models of equipment, including helicopters.

Key words: *the use of aviation technology, cosmonaut spaceflight training, manned space exploration, modeling of weightlessness conditions.*

For citations: *Vlasov P.N., Kharlamov M.I., Kuritsyn A.A., Fokin V.E., Sorokin V.G., Kislitsyn V.N. The Use of Aviation Technology in the Cosmonaut Training Process. Ideas and innovations, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 87–92.*

В статье представлены цели, задачи, порядок, необходимость и перспективы использования авиационной техники для подготовки космонавтов к выполнению космического полета.

С момента начала развития пилотируемой космонавтики авиация и космонавтика были и до сих пор очень тесно связаны. Подготовка космонавтов к космическому полету является чрезвычайно сложным многоплановым процессом, требующим формирования и поддержания у космонавтов знаний, навыков, умений и профессионально важных качеств, необходимых для успешного выполнения программы космического полета.

В 1959–1960 годах в Советском Союзе из 3461 военного летчика в возрасте до 35 лет для подготовки к космическим полетам были отобраны 20 лётчиков-истребителей для подготовки к первому полету человека в космическое пространство. По мнению С.П. Королева, летчики, обладающие необходимыми навыками управления авиационной техникой, больше всех подходили для управления космическим кораблем.

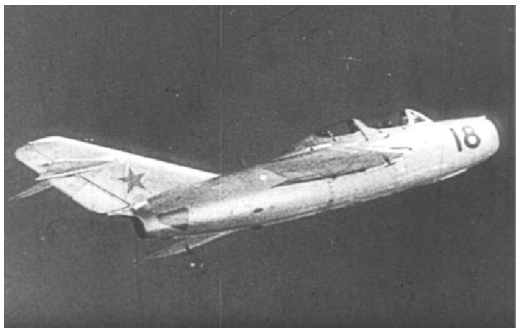
Начиная с подготовки первого отряда космонавтов, авиационная техника использовалась для формирования профессиональных качеств, необходимых для выполнения космического полета. Принято, что космонавты в отряде космонавтов ЦПК имени Ю.А. Гагарина должны совершать полёты на учебных самолётах для формирования и поддержания уровня лётной подготовки, а также проходить специальную парашютную подготовку.

Кроме того, как и при подготовке первого отряда космонавтов, полеты на самолетах используются для моделирования условий невесомости. Уже с первым отрядом космонавтов на аэродроме Чкаловский проводились ознакомительно-тренировочные полеты на самолете УТИ-МиГ-15, переоборудованном для создания условий невесомости.

Ю.А. Гагарин проводит разбор полета с Б.В. Волыновым

(Yuri A. Gagarin conducts a debriefing with Boris V. Volynov)

Каждый слушатель участвовал в четырех-пяти полетах. В каждом полете выполнялось по три горки. Время пребывания в условиях невесомости на каждой параболе 35–40 секунд, суммарное время составило 6–8 минут. В полетах изучались функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем, координация движений, острота зрения. Кроме того, изучалась возможность приема воды, твердой и пастообразной пищи, условия ведения радиосвязи (функция речи).



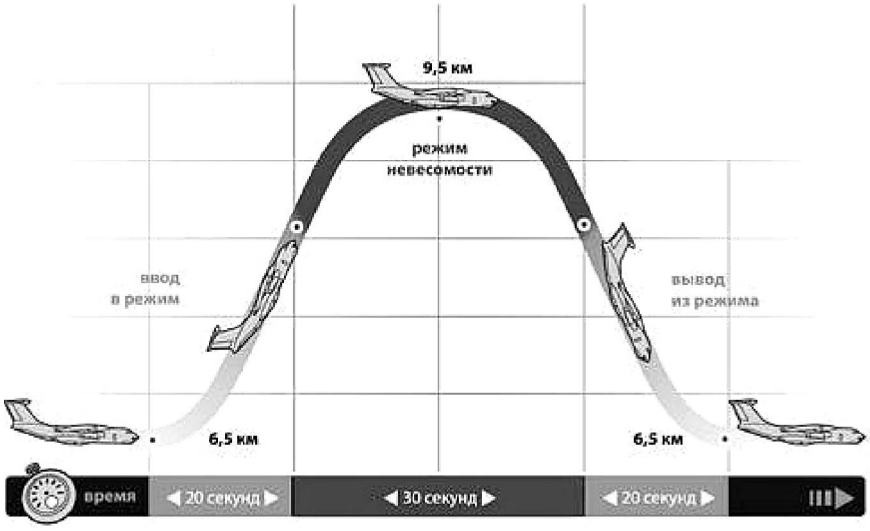
Самолет УТИ МиГ-15 использовался
для подготовки первых космонавтов
в условиях невесомости

(The UTI-MIG 15 plane was used to train
the first cosmonauts in conditions of weightlessness)

Уже в 1961 году вышел приказ о закреплении за ЦПК самолета Ту-104К, переоборудованного для полетов с созданием в нем невесомости. В настоящее время для этих целей используется специализированный самолет ИЛ-76МДК.

В ЛИИ имени М.М. Громова с 1961 года в полетах при многократном повторении режимов кратковременной невесомости поэтапно отрабатывалась последовательность отделения космонавта КК «Восток-3А» от кресла космонавта для свободного парения над ним и последующего возвращения в кресло испытателями В.И. Головиным (ЛИИ) и В.М. Комаровым (ЦПК). Используя рекомендации, разработанные при этих испытаниях, первым свободно парил во время орбитального полета в кабине КК «Восток-3А » Г.С. Титов.

При полетах на самолете ИЛ-76 МДК возможно моделирование условий не только невесомости, но и пониженной весомости, к примеру, лунной и марсианской силы тяжести. В статье представлена математическая модель создания условий пониженной весомости в салоне самолета-лаборатории. Данные математические выражения отражают аналитические зависимости между параметрами полета самолета-лаборатории, силами, действующими на различных участках полета, и кинематическими параметрами создаваемых условий пониженной весомости. Летчики авиационного отряда ЦПК уже в настоящее время сертифицированы и проводят полеты с моделированием режимов лунной весомости.



Моделирование условий пониженной весомости (лунной, марсианской) с использованием ИЛ-76МДК
(Simulation of reduced gravity (Lunar, Martian) conditions using the IL-76 MDK aircraft)

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Одним из видов подготовки космонавтов к выполнению космических полетов является специальная летная подготовка с использование авиационной техники. Специальная летная подготовка космонавтов формирует качества космонавтов, которые не могут быть сформированы в наземных условиях с использованием тренажеров. В процессе полетов на самолетах формируются и поддерживаются операторские навыки в условиях большого потока информации, сопряженного с дефицитом времени на принятие решения и реальными факторами полета, риском, стрессом, ответственностью за принятое решение в нештатных ситуациях на фоне сложносовмещенной операторской деятельности.

Круг задач летной подготовки космонавтов к полету на многоместных кораблях «Союз» значительно расширился. В программе полета первых космонавтов появились полеты на транспортных самолетах для тренировки в работе с астрономическими средствами навигации и визуальным наблюдением с использованием фото- видеоаппаратуры, а также тренировки и испытания по надеванию скафандра, шлюзованию и переходу на другой корабль с использованием летающей лаборатории на базе самолета Ту-104.

В настоящее время летная подготовка может проводиться на всех этапах подготовки космонавтов. На первом этапе общекосмической подготовки выполняется первоначальная лётная подготовка. На втором этапе (подготовка космонавтов в составе групп) проводится лётная подготовка, позволяющая формировать у космонавтов необходимые соответствующие профессиональные качества. На третьем этапе, когда космонавты находятся в составе экипажей, летная подготовка выполняется только по специальному решению.

В связи с тем, что в отряд космонавтов в настоящее время набираются как летчики, так и специалисты других профессий, то, соответственно, программы летной подготовки для них в настоящее время различные. Определено, что летчик, имеющий налет 200-250 часов, уже обладает необходимыми профессионально важными качествами космонавта для выполнения сложной деятельности не ниже 30% требуемого уровня.

Для подготовки космонавтов и кандидатов в космонавты к выполнению визуально-инструментальных наблюдений с борта ПКА в данное время используются самолеты-лаборатории, позволяющие приобретать навыки по поиску, обнаружению, распознаванию, идентификации и регистрации наземных, морских и воздушных объектов, процессов и явлений наблюдения в условиях, приближенных к космическому полёту, а также навыки пространственной ориентации, визуально и с применением навигационных систем, восприятия и обобщения визуальной и приборной информации. В настоящее время полеты выполняются с использованием СЛ Ту-134ЛК.

Самолет Ту-134ЛК, используемый подготовки космонавтов по визуально-инструментальным наблюдениям

(The TU-134 LK plane used for training cosmonauts in visual and instrumental observations)

Также авиационная техника используется при проведении специальной парашютной подготовки космонавтов.

Основными задачами парашютной подготовки космонавтов являются:

- совершенствование необходимых психологических качеств космонавтов с учетом их перспективной специализации (должностных и функциональных обязанностей в космическом полете).
- поддержание высокого уровня работоспособности и психологической готовности к деятельности в условиях эмоционального стресса и дефицита времени.

Основной методический прием проведения СППК состоит в следующем: космонавту в процессе прыжка с парашютом предлагается дополнительное задание, выполняемое им в

свободном падении совместно с наблюдением приборной информации и сохранением устойчивого положения тела в пространстве, а также при управлении куполом парашюта. Дополнительное задание, которое выполняют космонавты в процессе прыжка, это простейшие тесты с использованием вспомогательной аппаратуры.

В перспективе с учетом планов освоения Луны и окололунного пространства целесообразно привитие космонавтам навыков управления вертолетом в целях подготовки к управлению лунным взлетно-посадочным комплексом.

Таким образом, 57-летний опыт выполнения космических полетов подтверждает необходимость использования космической техники для подготовки космонавтов, обосновывает необходимость обновления авиационного парка Центра подготовки космонавтов, приобретения новых образцов техники, в том числе и вертолетов.

Литература

1. Васильев В.И., Васильева Н.В., Фокин В.Е. Дедкова Е.В., Бирюкова А., Максимов С.Н. Применение современных информационных технологий при подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности с борта РС МКС // Пилотируемые полеты в космос. 2015. № 3(16). С. 83–91.

2. Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Сорокин В.Г., Токарев В.И., Сохин И.Г., Рыжиков С.Н., Халиков М.Р. Новые подходы к организации специальной летной подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. 2013. № 4(9). С. 82–91.

3. Крючков Б., Курицын А. Как отбирали в первый отряд космонавтов // Родина. 2012. № 8. С. 6–7.

4. Лончаков Ю.В., Крючков Б.И., Курицын А.А. Этапы инновационного развития Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина // Полет. 2015. № 4(4). С. 4–14.

5. Циблиев В.В., Фокин В.Е. История развития советской и российской системы подготовки космонавтов в области визуально-инструментальных наблюдений Земли // Геопрофи. 2015. № 2. С. 4–8.

References

1. Vasil'ev V.I., Vasil'eva N.V., Fokin V.E. Dedkova E.V., Biryukova A., Maksimov S.N. Application of Modern Information Technologies in Cosmonaut Training for Visual-Instrumental Observations of the Earth's Surface from the Board of the ISS RS. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2015, no. 3(16), pp. 83–91 (in Russian).

2. Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Sorokin V.G., Tokarev V.I., Sokhin I.G., Ryzhikov S.N., Khalikov M.R. New Approaches to Organization of Special Flying Training of Cosmonaut. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2013, no. 4(9), pp. 82–91 (in Russian).

3. Kryuchkov B., Kuritsyn A. As selected in the first group of astronauts. *Rodina*, 2012, no. 8, pp. 6–7 (in Russian).

4. Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A. Landmarks of Innovative Development Of Cosmonaut Training Center Named After Yuri Alexeyevich Gagarin. *Polet*, 2015, no. 4(4), pp. 4–14 (in Russian).

5. Tsibliev V.V., Fokin V.E. Development history of Soviet and Russian cosmonauts training system in the field of Visual and instrumental observations of the Earth. *Geoprofi*, 2015, no. 2, pp. 4–8 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Власов Павел Николаевич
Герой Российской Федерации, начальник ЦПК, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Харламов Максим Михайлович
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Курицын Андрей Анатольевич
доктор технических наук,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)
A.Kuricyn@gctc.ru

Pavel N. Vlasov
Hero of the Russian Federation, Head of State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Maksim M. Kharlamov
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Andrey A. Kuritsyn
Doctor of Technical Sciences,
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)
A.Kuricyn@gctc.ru

Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3

Фокин Валерий Евгеньевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)

Сорокин Владимир Геннадиевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)

Кислицын Валерий Николаевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)

Valeriy E. Fokin
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Vladimir G. Sorokin
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

Valeriy N. Kislitsyn
State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»
(*Zviozdny Gorodok (Star City), Moscow Region, Russia, 141160*)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Условия и порядок приема рукописей:

1. Редакция принимает к публикации материалы на русском языке по темам, соответствующим основным научным направлениям журнала. Научные статьи принимаются в течение года и при условии положительных результатов независимой экспертизы включаются в очередной номер журнала.

2. В журнале публикуются статьи, отличающиеся высокой степенью научной новизны, теоретической и практической значимости. В статье должны быть изложены основные результаты исследования. Материалы статьи должны быть оригинальными, ранее нигде не публиковавшимися. Авторами могут быть ученые-исследователи, докторанты, аспиранты, соискатели.

3. Авторы предоставляют в редакцию журнала на e-mail: ideasnov@yandex.ru один файл формата Microsoft Word, содержащий статью и сведения об авторе. Имя файлу присваивается следующим образом: фамилия, имя, отчество, научное направление статьи (при наличии 2 и более авторов указывается фамилия только первого автора), файлы, инфицированные вирусами, не обрабатываются.

4. Поступившие в редакцию материалы регистрируются и в течение 3 дней автору (авторам) по электронной почте высылается подтверждение о получении статьи.

5. Статьи, не соответствующие условиям публикации и требованиям к оформлению, не рассматриваются.

6. Если рецензия содержит рекомендации по исправлению и доработке статьи, то она направляется автору с предложением учесть рекомендации при подготовке нового варианта статьи. Датой поступления статьи в данном случае считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

7. Аспирантам необходимо приложить к статье сканированную копию рецензии научного руководителя, заверенную печатью организации, и справку из отдела аспирантуры, подтверждающую обучение с указанием срока его окончания.

8. Корректура авторам не высылается, присланные материалы не возвращаются.

9. Гонорар за публикацию статьи не выплачивается.

RULES FOR AUTHORS

Manuscripts are accepted in keeping with the following terms and procedures:

1. The Editorial Team accepts for publication Russian-language materials which meet the criteria regarding the main scientific focus areas of the journal. Scientific articles are accepted all the year round. If they successfully pass independent peer review, they are included in the upcoming issue of the journal.

2. The journal publishes articles marked by a high degree of scientific novelty and theoretical and practical significance. The article is expected to contain the main research results from the conducted study. The materials of the article should be original and never published anywhere else before. The eligible contributors are scientists - participants in official postgraduate and doctoral studies programs and departments affiliated with academic and research institutions or candidate and doctoral degree students non-affiliated with these departments.

3. Contributors submit to the Editorial Team one Microsoft Word file with the article and with information about the author(s). E-mail address for submission is ideanov@yandex.ru. The file name is assigned as follows: last name, first name and patronymic initials, and research focus area of the article. If the article has two or more authors, only the first author's name is noted. Files infected with viruses are not processed and are not accepted for publication.

4. The materials submitted to the Editorial Team are registered, and within 3 days, an e-mail acknowledgement of receipt is sent to the author (authors).

5. Articles not consistent with publication terms and presentation requirements are not considered.

6. If the peer review generates recommendations for the correction and further improvement of the article, it is sent to the author (s) with a suggestion that these recommendations should be incorporated in the preparation of a new version of the article. The date of receipt of the final version of the article by the Editorial Team is recognized as the date of submission.

7. Postgraduate studies department students need to supplement the article with a scanned copy of the scientific supervisor's review validated by his or her signature and the organization's official stamp, and with a certificate from the postgraduate studies department confirming the fact of the formal training at the department and the date of its termination.

8. Edits and proofs are not sent to contributors. Received materials are not returned.

9. Contributors are not paid any fees for the publication of their articles.

ИДЕИ И НОВАЦИИ (16+)

Т. 6 № 3
2018

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзоре)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-54169 от 17 мая 2013 г.

Учредители: Общероссийская общественная организация «Российская инженерная академия» (РИА),
Автономная некоммерческая организация «Институт региональной журналистики»,
Творческое объединение «Союз»

Адрес редакции и издателя: 109004, Москва, ул. Александра Солженицына, д. 19, стр. 2
e-mail: ideasnov@yandex.ru
Тел.: +7(977) 807-33-97 +7(499) 343-89-47

Редактор Н.И. Завгородняя
Компьютерная верстка и правка Н.Н. Ивановой
Оформление С.Е. Чакъров

Сдано в набор 13.08.2018. Подписано в печать 10.09.2018. Выход в свет 28.09.2018.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Calibri. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 9,96. Тираж 1000 экз. Заказ № 140654. Свободная цена.

Отпечатано в ПАО «Т8»
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5

При использовании материалов ссылка на журнал «Идеи и новации» обязательна