

Министерство культуры Российской Федерации  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Государственный музей истории космонавтики  
имени К.Э. Циолковского  
Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова  
Российской академии наук

**К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ:  
КЛЮЧЕВЫЕ ИДЕИ И СОВРЕМЕННЫЕ  
ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ**

Материалы  
59-х Научных чтений, посвященных разработке научного  
наследия и развитию идей К.Э. Циолковского

Часть 1

Калуга, 2024

The Ministry of Culture of the Russian Federation  
The Russian Academy of Sciences  
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
The K. Tsiolkovsky State Museum of the History of Cosmonautics  
S.I. Vavilov Institute of the History of Natural Science and Technology of  
the Russian Academy of Sciences

**K.E. TSIOLKOVSKY:  
THE KEY IDEAS AND MODERN  
ACHIEVEMENTS IN COSMONAUTICS**

Materials of the LIX th Scientific Readings  
devoted to the development of K.E. Tsiolkovsky's  
scientific heritage and ideas

Part 1

Kaluga, 2024

**ББК 72.3**

**Ц66**

59-е Научные чтения, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского 2024 г., проводятся при содействии Правительства Калужской области

\*\*\*

Ответственные за выпуск:

Н.А. Абакумова, А.А. Мясников, Л.Н. Канунова

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Академик РАН В.А. Соловьев (председатель), Н.А. Абакумова (заместитель председателя), д-р техн. наук, проф. В.А. Алтунин, д-р техн. наук, проф. М.Ю. Беляев, канд. техн. наук Н.Б. Бодин, д-р техн. наук, проф. В.В. Воробьев, д-р техн. наук В.А. Воронцов, д-р техн. наук, проф. Л.В. Докучаев, М.В. Доронина, Т.Н. Желнина, д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Ивашкин, д-р мед. наук, член корр. РАН В.К. Ильин, Л.Н. Канунова (отв. секретарь), д-р филос. наук, канд. техн. наук, проф. С.В. Кричевский, д-р филос. наук В.В. Лыткин, д-р филос. наук, проф. В.М. Мапельман, д-р техн. наук, проф. Ю.А. Матвеев, д-р мед. наук, проф. Э.И. Мацнев, канд. техн. наук А.А. Митина, канд. ист. наук А.А. Мясников, д-р техн. наук, проф. А.А. Позин, д-р мед. наук, проф. РАН Е.Э. Сигалева, Е.А. Тимошенкова, канд. ист. наук А.В. Хорунжий, канд. техн. наук В.А. Шувалов.

### **К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ: КЛЮЧЕВЫЕ ИДЕИ И СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ**

Материалы 59-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Часть 1.  
**Ц66** Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). 2024. – 460 с. – 350 экз.

**ISBN 978-5-907678-99-6**

ISBN 978-5-907678-99-6

ISBN 978-5-907928-00-8 (ч.1)

© Авторы докладов, 2024

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 629.78(091)  
eLIBRARY.RU: 55.00.00

**Карчаев Х.Ж.**

**Karchaev Kh.Zh.**

кандидат экономических наук  
первый заместитель генерального директора  
по стратегическому развитию и производству  
АО «НПО Лавочкина», г. Химки

### **НАШ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ БАБАКИН (К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ КОНСТРУКТОРА КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ)**

#### **OUR GEORGY NIKOLAEVICH BABAKIN (ON 110<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BIRTH)**

**Аннотация.** В статье, посвящённой 110-й годовщине со дня рождения Г.Н. Бабакина, приведён обзор его творческой деятельности. Особое внимание уделено годам его работы в качестве Главного конструктора в период начала работы предприятия по космическим проектам. За неполные 6 лет 15 автоматических космических станций серии «Луна», «Венера», «Марс» успешно выполнили свою программу.

**Ключевые слова:** роботизированные космические аппараты, «Луна-9», «Луна-10», «Луна-16», «Луна-17», «Венера-4», «Венера-7», «Марс-3», грунтозаборное устройство, Луноход, лазерная локация Луны.

**Abstract.** The article on the 110<sup>th</sup> anniversary of the birth of Georgy N. Babakin provides overview of his creative activity. A closer attention is paid to the years of his work as a Chief Designer during the early period of the enterprise's space projects elaboration. In less than 6 years fifteen unmanned space stations of «Luna», «Venera», «Mars» series have successfully implemented its missions.

**Keywords:** robotic spacecraft, «Luna-9», «Luna-10», «Luna-16», «Luna-17», «Venera-4», «Venera-7», «Mars-3», soil sampling device, Lunokhod, Moon laser detection and ranging.

Прошло уже больше 50 лет, как ушёл из жизни Георгий Николаевич, а в коллективе АО «НПО Лавочкина по-прежнему бережно хранят память о Главном конструкторе, открывшем для предприятия эру космических проектов. В чем же секрет этой всеобщей любви и безграничного уважения, которые уже многие десятилетия заслуженно соотносятся с личностью этого незаурядного человека, учёного, конструктора, руководителя? Ведь судьба отпустила ему всего 6 лет для творчества в роли Главного конструктора, но какие события, какие проблемы, какие вершины космических свершений сопутствовали этому периоду жизни коллектива лавочкинцев!

Георгий Николаевич Бабакин по праву считается создателем отечественных роботизированных космических аппаратов: автоматических межпланетных станций, перенёсших из мира лавочкинских фантазий в мир реалий уникальнейшие по своей сложности и научной информативности исследовательские экспедиции на Луну, Марс, Венеру. Приняв из рук С.П. Королева эстафету в создании автоматических космических аппаратов для исследования Луны и планет Солнечной системы, Г.Н. Бабакин стал достойным преемником и продолжателем этого направления отечественной космонавтики. «Впервые в мире» - эту оценку вполне заслуженно получили межпланетные станции «Луна-9», «Луна-10», «Луна 16», «Луна-17», «Венера-4», «Венера-7», Марс-3» [1].

После скоростной смерти С.А. Лавочкина к оставшемуся без руководителя коллективу ОКБ проявил «захватнический» интерес быстро набирающий силу под патронажем Н.С. Хрущёва Генеральный конструктор В.Н. Челомей. В 1962 году лавочкинское КБ стало филиалом № 3 ОКБ-52. Начальником филиала был назначен А.И. Эйдис. Именно тогда, будучи замом Эйдиса, неформальным лидером лавочкинцев стал Г.Н. Бабакин, сумевший по «сырым», полученным от ОКБ-52 разработкам, не только с честью завершить выполнение важных для страны оборонных заказов по оснащению ракетными боевыми кораблями ВМФ СССР, но и сохранить уникальную конструкторскую школу С.А. Лавочкина.

В 1964 году КБ лавочкинцев вновь обрело самостоятельность, но при этом возникли серьёзные опасения в назначении нового руководителя – вероятность прихода в ОКБ руководителя-«варяга», а также проблема полноценной загрузки коллектива КБ заказами. Г.Н. Бабакин вновь сумел подтвердить свою репутацию лидера, заявив о готовности взять на себя обязанность главного конструктора, и решить вопрос по определению новой тематики.

2 марта 1965 года Георгий Николаевич Бабакин назначен Главным конструктором Машиностроительного завода им. С.А. Лавочкина. Перед КБ была поставлена новая задача: создание автоматических космических станций для исследования Луны и планет Солнечной системы. Начался «Бабакинский этап в жизни ОКБ. Судьба отвела Г.Н. Бабакину всего лишь неполные шесть лет... Но это были исключительно плодотворные страницы не только в его творческой биографии, но и, в том числе благодаря ему, в летописи отечественной беспилотной космонавтики.

Из воспоминаний О.Г. Ивановского: «Жизнерадостность, общительность, острое слово, простота в обращении – вот, пожалуй, первое, что бросалось в глаза при контакте с Георгием Николаевичем. Чуть позже, узнав его ближе, вы познавали такие его качества, как чуть ли не фанатическую целеустремлённость, исключительную инженерную интуицию, умение оперировать категориями совершенно реальными, когда речь шла о планах, казалось бы фантастических...» [2].

А.П. Милованов в своих воспоминаниях о Бабакине писал: «Он сумел собрать вокруг себя большую группу единомышленников и выдвинуть своими заместителями и ведущими конструкторами талантливых специалистов: Перминова В.Г., Чеснокова А.Г., Родина А.Л., Горошкова И.Н., Романова В.В., Морозова Н.А. Он не боялся конкуренции и пригласил своим первым заместителем такого опытного и талантливого конструктора, как бывшего заместителя С.А. Королёва, С.С. Крюкова. Его хватало на всё. Создавалось впечатление, что он жёг свечу с двух сторон...Принцип свободного обсуждения и высказываний своих мнений, который был принят при Лавочкине, сохранился при Бабакине. Каждый мог высказать своё мнение, как бы абсурдно оно на первый взгляд не казалось. Он сам непрерывно «генерировал» новые идеи и предложения, поощряя к этому своё окружение. Не могу не вспомнить при этом его личную скромность и отсутствие какого-либо зазнайства» [2].

Лавочкинская школа создания сложной автоматической техники, привнесённая Бабакиным в космонавтику, довольно быстро принесла свои плоды. Лунная эпопея для Бабакина началась с первой же успешно выполненной работы – 3 февраля 1966 года космический аппарат «Луна-9» совершил первую в мировой практике космоплавания мягкую посадку в районе Океана Бурь. Телевизионные изображения лунной панорамы при различных условиях освещённости в течение 4-х сеансов передавались на Землю. Длительность активного существования космического аппарата на поверхности Луны составила

около 47 часов. Полученная телеинформация дала возможность изучить микрорельеф лунного грунта, определить размеры и форму впадин и камней [3].

В последующем удаchi чередовались с неудачами, но весьма показателен ритм проведения межпланетных экспедиций: за 1966 год проведено 6 запусков межпланетных станций к Луне, при этом 1 попытка запуска оказалась неудачной, остальные 5 – были чрезвычайно информативны и полезны (2 мягких посадки на поверхность Луны и 3 искусственных спутников Луны (ИСЛ)).

Из воспоминаний В.Н. Сморкалова о Бабакине: «Работа с Георгием Николаевичем убедила меня в том, что руководитель такого ранга, как Главный конструктор, да и других уровней – это сочетание в одном лице профессионализма с большой буквы, незаурядных организаторских способностей и, что не менее важно, основательной человеческой порядочности. Во взаимодействии с профессионально сильным коллективом и прогрессивным высшим руководством можно идти на штурм любых технических крепостей!».

Первые успехи были в то время отмечены высшей отечественной премией и правительственными наградами. Г.Н. Бабакин в 1966 году стал Лауреатом Ленинской премии [2].

10 апреля 1968 года космический аппарат «Луна-14» был выведен на окололунную орбиту и завершил программу исследования Луны с помощью «лунников» второго поколения, выводимых на ракетеносителе «Молния».

Третье поколение бабакинских «лунников» разрабатывались для выполнения таких сложных экспериментов, как доставка на Землю образцов лунного грунта и как длительное исследование поверхности при помощи подвижной дистанционно управляемой лаборатории, получившей в последствии название «Луноход», а также разностороннее и углублённое изучение Луны и окружающего её пространства с орбиты ИСЛ. Запуск новых типов космических аппаратов, обладающих значительно большей массой, мог осуществляться только на более мощной ракетеносителе. Все последующие экспедиции к Луне осуществлялись уже на ракетеносителе «Протон» с дополнительной 4-ой ступенью – разгонным блоком «Д» [4].

Основой для «лунников» третьего поколения служил универсальный орбитально-посадочный блок многоцелевого назначения, с помощью которого на Луну или в её окрестности могли доставляться различные грузы: луноходы, возвратные ракеты,

аппаратура для дистанционного зондирования поверхности Луны с орбиты и т.п. [5].

После 6 неудачных попыток 21 сентября 1970 года КА «Луна-16» благополучно прилунился в районе Моря Изобилия. Грунтозаборное устройство обеспечило бурение и забор образцов лунных пород в возвращаемый аппарат. Впервые в мировой практике было осуществлено взятие пробы вещества другого небесного тела и доставка её на Землю автоматическим зондом.

9 ноября 1970 года указом Верховного Совета СССР Г.Н. Бабакину присвоено звание Героя Социалистического Труда [2].

17 ноября 1970 года последовал успех и в экспедиции с луноходом. Ещё раз подтвердив реализуемость программно-управляемой схемы десантирования, КА «Луна-17» совершил посадку в Море Дождей. В ходе экспедиции вновь выполнена работа, получившая статус мирового приоритета: самодвижущаяся исследовательская лаборатория, известная во всём мире как «Луноход-1» – первый самоходный исследовательский планетный аппарат, управляемый экипажем с Земли, успешно выполнил научно-исследовательскую программу. Курсируя по лунной поверхности около 300 земных суток, он прошёл 10,5 км и передал за Землю 20 000 снимков, а также проводя анализ состава грунта и исследования его механических свойств.

Космические работы, созданные под руководство Бабакина, весьма эффективно подтвердили его высказывания в отношении принципов организации исследовательских полётов в космосе: «Я приверженец автоматов. Прежде всего, они дешевле и в то же время способны в принципе сделать то же, что и человек: привезти грунт на Землю, обеспечить исследования породы на месте, измерить температуру, уровень радиации на наш взгляд в настоящее время путь исследования Луны автоматами более рационален. Если говорить об исследовании планет, конечно, автоматические станции, по крайней мере, в обозримом будущем, будут играть первую скрипку... Появление человека на планетах, на наш взгляд, оправдано тогда, когда возможности автоматов будут в значительной степени исчерпаны».

Параллельно с напряжёнными действиями по выполнению лунной программы под руководством Г.Н. Бабакина создавались автоматические космические аппараты для полётов на Венеру и Марс.

В октябре 1967 года КА «Венера-4» успешно внедряется в чрезвычайно плотную атмосферу планеты Венера и шлёт на Землю ценнейшую информацию об условиях при спуске. В мае 1969 года спускаемые аппараты «Венера-5,-6» приносят новые данные,



существенно корректирующие первоначальную физическую модель исследуемой планеты. 15 декабря 1970 года спускаемый аппарат «Венера-7», выдержав высокую температуру ( $475 \pm 20 \text{ C}^\circ$ ) и давление ( $90 \pm 15 \text{ атм.}$ ) совершил первую в мире мягкую посадку и работал на венерианской поверхности 22 минуты 58 секунд [4].

Под руководством Бабакина на предприятии велись работы и по марсианской тематике. Для реализации марсианских проектов потребовалась более мощная ракета-носитель «Протон». Первые два пуска КА на Марс в марте и апреле 1969 года закончились аварией – взрывом то на одной, то на другой ступени ракеты-носителя «Протон». Из трёх последующих пусков, осуществлённых в мае 1971 года, два – успешных: «Марс-2» и «Марс-3». Спускаемый аппарат «Марс-3» 2 декабря 1971 года совершил первую в мире мягкую посадку на Марс и в течение 20 секунд передавал видеосигнал, ретранслируемый через орбитальный аппарат на Землю. Орбитальные аппараты «Марс-2» и «Марс-3» более 8 месяцев осуществляли комплексную программу исследования Марса с орбиты ИСМ [4]. Из центра управления полётом в мае 1971 года главный конструктор Г.Н. Бабакин проводил в путь КА «Марс-2» и «Марс-3», но о результатах экспедиции он уже не узнал – 3 августа того же года Бабакин скоропостижно скончался.

Г.Н. Бабакин при решении проблем по исследованию Луны и планет Солнечной системы опирался также на коллективы смежных предприятий – разработчиков систем КА, а также на учёных и специалистов научно-исследовательских институтов и организаций.

Академик М.Я. Маров в своих воспоминаниях писал: «Свои задумки и планы Георгий Николаевич стремился, прежде всего обсудить с М.В. Келдышем, к которому относился с глубочайшим уважением. В свою очередь, М.В. Келдыш высоко ценил талант и энтузиазм Г.Н. Бабакина и оказывал ему всяческую поддержку. Мы постоянно ездили с Мстиславом Всеволодовичем в НПО им. С.А. Лавочкина, и там непосредственно на месте проводилось обсуждение новых проектов, принимались ответственные решения. В свою очередь, Георгий Николаевич очень часто бывал у нас в ИПМ, где в кабинете М.В. Келдыша проходили наиболее доверительные беседы. По инициативе академика В.С. Авдуевского, который, как и многие другие наши выдающиеся учёные, исключительно высоко ценил Г.Н. Бабакина, и при всесторонней поддержке самого Г.Н. Бабакина, нами был создан на территории ОКБ и завода специальный стенд, на котором полностью имитировались условия спуска посадочного аппарата в атмосфере Венеры. Это обеспечило, в частности, вместе с комплексом целого ряда оригинальных мероприятий, выдающееся

техническое достижение – работу посадочных аппаратов на поверхности Венеры в исключительно тяжёлых условиях окружающей среды» [2].

Можно говорить о настоящем содружестве, возникшем между руководителями научных и промышленных предприятий и организаций, входящих в кооперацию по созданию автоматических космических аппаратов для исследования Луны и планет Солнечной системы, «головником» в которой было НПО им. С.А. Лавочкина и Главный конструктор – Г.Н. Бабакин.

Георгий Николаевич принял активнейшее участие и в зарождавшемся уже в то время международном сотрудничестве в космосе – совместно с французскими учёными в экспедиции КА «Луна-17» был проведён эксперимент по лазерной локации Луны [6]. За эти шесть лет периода Главного конструктора Бабакина 15 автоматических космических станций серии Луна, Венера, Марс успешно выполнили свою программу.

Российские учёные с помощью космических роботов НПО им. С.А. Лавочкина, берущих начало от Бабакинских проектов, в течение последующих десятилетий продолжали исследование ближайших планет, добившись особенно впечатляющих результатов в изучении Венеры, значительно расширили сферу своих интересов к малым телам Солнечной системы, создали новое научно-исследовательское направление – космические астрофизические исследования.

Признание заслуг Г.Н. Бабакина в развитии фундаментальных и прикладных отраслей науки выразилось в избрании его 24 ноября 1970 года членом-корреспондентом Академии наук СССР, присуждении ему учёной степени доктора технических наук. Международное признание выразилось в присвоении его имени кратеру на Луне и кратеру на Марсе. Г.Н. Бабакину в 1971 году (посмертно) присуждена медаль Национального Центра космических исследований Франции.

За неполные шесть лет своей «звёздной жизни» в космонавтике Г.Н. Бабакин не только успел решить ряд конкретных исследовательских задач, но и создал задел на годы вперёд.

### **Литература**

1. Ширшаков А.Е., Карчаев Х.Ж. и др. На шаг впереди (к 80-летию ОКБ НПО имени С.А. Лавочкина) // Вестник НПО имени С.А. Лавочкина.– 2019.– № 2.– С. 3–18.
2. Шесть лет и вся жизнь конструктора Г.Н. Бабакина / Авт.-сост. И.Л. Шевалев.– М.: Арт-Бизнес-Центр. 2004.– 448с.

3. Ефанов В.В., Моишеев А.А. Первый космический проект Г.Н. Бабакина // Вестник НПО имени С.А. Лавочкина.– 2021.– № 2.– С. 3–7.
4. Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований / Под общ. ред. Г.М. Полищука и К.М. Пичхадзе.– М.: МАИ-ПРИНТ, 2010.– 660 с.
5. Ефанов В.В., Мартынов М.Б., Карчаев Х.Ж. Летательные аппараты НПО имени С.А. Лавочкина (к 80-летию предприятия) // Вестник НПО имени С.А. Лавочкина.– 2017.– № 2.– С. 5–16.
6. Хартов В.В., Зеленый Л.М. и др. Новые российские лунные автоматические космические комплексы (к 45-летию космической деятельности НПО им. С.А. Лавочкина и 40-летию КА «Луна-16» и «Луна-17») // Вестник НПО имени С.А. Лавочкина.– 2010.– № 4.– С. 5.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.00.00

**Дегтярев А.О.**  
**Degtyarev A.O.**

заместитель генерального директора  
АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов

### **К 110 ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО КОНСТРУКТОРА АКАДЕМИКА В.Н. ЧЕЛОМЕЯ**

### **TO THE 110TH ANNIVERSARY OF THE BIRTHDAY OF THE GENERAL DESIGNER ACADEMICIAN V.N. CHELOMEY**

**Аннотация.** Представлен доклад «К 110-летию со дня рождения генерального конструктора академика В.Н. Челомея». Доклад охватывает наиболее яркие события в жизни выдающегося ученого, Генерального конструктора ракетной и ракетно-космической техники дважды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской и трех Государственных премий СССР, депутата Верховного Совета СССР академика Владимира Николаевича Челомея. Определяется выдающаяся роль и значимость В.Н. Челомея в развитии отечественной ракетной и ракетно-космической техники, его заслуги в научных исследованиях и подготовке научных и инженерных кадров.

**Ключевые слова:** академик В.Н. Челомей, НПО машиностроения, ракетная и ракетно-космическая техника, научные исследования, инженерные кадры.

**Abstract.** The report "On the 110th anniversary of the birth of the General Designer Academician V.N. Chelomey" is presented. The report covers the most significant events in the life of the outstanding scientist, General Designer of rocket and rocket-space technology, twice Hero of Socialist Labor, laureate of the Lenin and three State Prizes of the USSR, deputy of the Supreme Soviet of the USSR Academician Vladimir Nikolaevich Chelomey. The outstanding role and significance of V.N. Chelomey in the development of domestic rocket and rocket-space technology, his merits in scientific research and training of scientific and engineering personnel are determined.

**Keywords:** Academician V.N. Chelomey, NPO Mashinostroyeniya, rocket and rocket-space technology, scientific research, engineering personnel.

Владимир Николаевич Челомей – Генеральный конструктор авиационной, ракетной и ракетно-космической техники, академик, дважды Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской и трех Государственных премий СССР, кавалер 5 орденов Ленина, депутат Верховного Совета СССР.

Творческая мысль этого, безусловно, великого человека значительно опережала свое время. Его жизненный путь был насыщен огромным количеством событий, поступков, принятых решений, требующих огромного мужества, гениальности мысли, физического и психологического напряжения и выдержки.

Он сочетал в себе целый ряд редких качеств: выдающегося ученого-теоретика, блестящего конструктора, крупного организатора производства и прирождённого педагога. Такого масштаба разработок и перечня созданных образцов ракетной и ракетно-космической техники не имеет ни один из известных конструкторов не только у нас в стране, но и за рубежом.

Крылатыми ракетами для Военно-Морского Флота разработки Владимира Николаевича Челомея были оснащены почти 80 процентов ракетных надводных кораблей и 100 процентов подводных лодок – носителей крылатых ракет. Количество ракет и боевых блоков в группировке РВСН, созданных под его руководством, в разные годы превышало 60 процентов от их общего числа. Более 100 аппаратов различного назначения разработки Челомея работало в космосе.

За всем этим стояли его блестящие идеи и упорный труд по их воплощению.

«Помните, – говорил Владимир Николаевич, – что разработка самой идеи занимает 10-15% времени, остальные 85-90% – это

упорный труд, борьба с судьбой, с жизненными обстоятельствами, без чего невозможен успех...»

Владимир Челомей родился 30 июня 1914 года в семье учителей в пограничном западном городке Седлец. Детство и школьные годы прошли на Украине в городе Полтава.

В этот период его жизни общение с потомками и родственниками Александра Сергеевича Пушкина и Николая Васильевича Гоголя наложило отпечаток на его развитие и последующее поведение. Он рос и формировался в подлинно интеллигентной русской среде.

После окончания школы Владимир Челомей поступил в Киевский автомобильный техникум. В 1932 году – на авиационный факультет Киевского политехнического института. Став студентом, он слушал лекции по математике, физике и механике в Киевском университете и Украинской академии наук. Особенно его интересовала механика и, в частности, теория колебаний. За время учебы им было опубликовано более 20 научных статей. В 1937 году, на год раньше срока, он с отличием окончил Киевский авиационный институт. Его дипломная работа «Колебания в авиационных двигателях» была признана равнозначной кандидатской диссертации.

В 1939 году Владимир Челомей защитил кандидатскую диссертацию на тему «Динамическая устойчивость элементов авиационных конструкций».

В 1940 году в числе 50 лучших кандидатов наук, выдвинутых от всех республик СССР, его принимают в специальную докторантуру при Академии Наук СССР, он получает Сталинскую стипендию. В 1941 году, в возрасте неполных 27 лет Владимир Николаевич защитил докторскую диссертацию, став одним из самых молодых докторов наук.

Великую Отечественную войну Владимир Челомей встретил в Москве, в Центральном институте авиационного моторостроения имени Баранова, где спроектировал и испытал несколько экспериментальных пульсирующих воздушно-реактивных двигателей.

19 сентября 1944 года Владимир Николаевич Челомей был назначен директором и главным конструктором завода № 51 Наркомата авиационной промышленности.

Он получил задание создать первый в стране самолет-снаряд с ПуВРД типа немецкого ФАУ-1, который получил наименование 10Х. И уже в марте 1945 года начались летные испытания изделия. До февраля 1953 года в ОКБ-51 Владимира Челомея были созданы, прошли испытания и доведены до принятия на вооружение несколько типов самолетов-снарядов с ПуВРД большей мощности.

В 1953 г., вследствие конкурентной борьбы, завод 51 был закрыт, но Челомей не сдается, он обращается в высшие органы власти, доказывая неправоту этого решения. И уже в 1954 г. была воссоздана Специальная конструкторская группа, а затем в Реутове было создано ОКБ-52 для продолжения работ по ракетной тематике под руководством главного конструктора Челомея.

На базе небольшого старого завода надо было создать мощное, современное научно-производственное объединение по разработке новой ракетной техники. Задача была почти невыполнимой и понадобилась вся неукротимая энергия и воля Владимира Николаевича, чтобы решить ее.

В начале 50-х годов стартовые позиции баллистических ракет США, вооруженных ядерными боеголовками, были придвинуты вплотную к границам СССР. Ответом на этот вызов явилось создание крылатых ракет для вооружения океанского подводного флота, способного подойти к побережью США и нанести удары ядерными зарядами по жизненно важным объектам. Постановлением Правительства от 8 августа 1955 года Челомею была поручена разработка такой крылатой ракеты, названной П-5.

В этом проекте проявился бойцовский характер Челомея: он сумел выиграть победу в конкурсе на эту разработку у таких маститых главных конструкторов как Микоян, Лавочкин, Бериев.

Например, разрабатывая проект самолета-снаряда П-10, Георгий Михайлович Бериев направил в ЦК КПСС письмо, в котором утверждал, что проект Челомея – это авантюризм, старт должен производиться с открытым крылом.

Но Владимир Николаевич проявил себя во всем блеске своего таланта. Раскрывающееся в полете крыло и старт с коротких направляющих – изменило облик ракетного оружия и его носителей и используется во всем мире.

При создании комплекса П-5 впервые в мире были решены сложнейшие научно-технические проблемы, к числу которых, прежде всего, следует отнести старт крылатой ракеты непосредственно из контейнера подводной лодки со сложенными крыльями и раскрытие крыльев в полете за минимально возможное время.

Принципиально новая конструкция ракет позволила в несколько раз увеличить их число при размещении на подводных лодках и надводных кораблях. Благодаря этому изобретению началось победоносное шествие крылатых ракет Челомея.

В июне 1959 года крылатая ракета П-5 была принята на вооружение ВМФ, коллектив ОКБ-52 был награжден орденом Ленина,

а Владимиру Николаевичу Челомею было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

За стратегической ракетой П-5 следуют противокорабельная ракета П-6, затем первая в мире крылатая ракета с подводным стартом «Аметист», а после противокорабельные комплексы с ракетами «П-35».

В 1963 году ОКБ-52 было награждено вторым орденом – Трудового Красного Знамени, а Челомей был награжден второй Золотой медалью «Серп и Молот».

Впоследствии под его руководством создаются более совершенные комплексы крылатых ракет оперативного и оперативно-тактического назначения: «Аметист», «Малахит», «Базальт», «Прогресс», «Вулкан» и «Гранит». Военно-Морской Флот получает лучшее в мире ракетное оружие.

Главком ВМФ адмирал Флота Советского Союза Сергей Георгиевич Горшков роль предприятия и генерального конструктора Челомея оценил так: «Владимир Николаевич Челомей является фактическим создателем нашего национального оружия – противокорабельных крылатых ракет, основы антиавианосной системы вооружения Советского флота».

Всего на кораблях отечественного Военно-Морского Флота в качестве главного калибра находилось около 1250 пусковых установок с ракетами Челомея. Часть из них продолжает служить и сейчас.

По-прежнему несут боевое дежурство на малых ракетных кораблях проекта 1234.1 комплексы с крылатыми ракетами «Малахит»; на флагмане Тихоокеанского флота крейсере «Варяг» комплекс «Вулкан»; на атомных подводных крейсерах проекта 949А – комплекс с крылатыми ракетами «Гранит». Береговой противокорабельный оперативно-тактический комплекс «Утес», расположенный в Российском Крыму, вооружен крылатыми ракетами «Прогресс».

В 70-е годы в ответ на развёртывание США крылатых дозвуковых ракет нового поколения «Томагавк», под руководством Владимира Николаевича Челомея был создан и испытан уникальный ракетный комплекс со сверхзвуковой крылатой ракетой большой дальности «Метеорит». Только развал страны в 90-е годы помешал постановке КР «Метеорит» на боевое дежурство.

Во время «холодной войны» Советский Союз оказался перед лицом новой внешней угрозы – в США началось развёртывание группировки из тысячи межконтинентальных баллистических ракет «Минитмен». Благодаря разработанным под руководством Челомея комплексам с межконтинентальными баллистическими ракетами УР-100 в

кратчайший срок был достигнут ракетно-ядерный паритет с США сначала по количеству ракет, а позднее, после создания более совершенных ракет этого семейства УР-100К и УР-100Н – по количеству боевых блоков. В ракетах семейства УР-100 впервые была выполнена ампулизация, что обеспечивало ее хранение на боевом дежурстве в заправленном состоянии и малое время готовности к пуску.

В 1980 году был принят на вооружение комплекс УР-100Н УТТХ с улучшенными характеристиками. Эти ракеты и сегодня несут свою службу, что является уникальным достижением в мировом ракетостроении и позволяет без значительных финансовых затрат на изготовление, замену и утилизацию ракет поддерживать обороноспособность страны на высоком уровне.

Под руководством Владимира Николаевича Челомея по заданию Министерства обороны была разработана и первая в стране орбитальная пилотируемая станция. Она предназначалась для ведения комплексной разведки малоразмерных и частично замаскированных целей. В семидесятые годы на орбите Земли работали три орбитальные пилотируемые станции комплекса «Алмаз», которые получили названия «Салют-2, 3 и 5» соответственно. На них успешно отработали экипажи космонавтов: Павел Попович и Юрий Артюхин; Борис Волинов и Виталий Жолобов; Виктор Горбатко и Юрий Глазков.

Сложно перечислить все проекты и изделия, получившие жизнь благодаря таланту Владимира Николаевича Челомея. И за каждым изделием стоит целая история. В разные годы под руководством Челомея были также созданы уникальные космические системы, такие как система морской космической разведки и целеуказания, первый в мире маневрирующий спутник «Полёт», система противоспутниковой обороны; научные космические станции «Протон», транспортный корабль снабжения комплекса «Алмаз» с многократным возвращаемым аппаратом; ракеты-носители УР-200, УР-500 и конечно же знаменитый «Протон» (УР-500К).

Космические разработки Челомея и сегодня достойно служат нашей стране. Ракета «Протон» все еще является наиболее востребованной отечественной тяжелой ракетой-носителем, а богатое наследие комплекса «Алмаз» продолжает жить во всех космических станциях, кто бы их ни строил.

Генеральному конструктору доставались, конечно, не только почёт, уважение и награды, гораздо больше в его жизни было бессонных ночей в поисках необходимых решений, непростых, а порой и тяжелых разговоров, когда приходилось отвечать, спрашивать и требовать. В



сложной для фирмы ситуации конца 1964 – 65-го годов он сумел отстоять само существование предприятия как головного конструкторского бюро с его основной тематикой.

Говоря о Владимире Николаевиче Челомее, нельзя не сказать о его научной деятельности. Формирование его как будущего ученого началось еще в студенческие годы. Уже в годы учёбы Челомей опубликовал целый ряд работ по актуальным вопросам математики и прикладной механики, провёл первые эксперименты необходимые для создания пульсирующего двигателя.

В 1958 году он был избран членом-корреспондентом Академии Наук СССР по специальности «Механика», а в 1962 году по той же специальности — действительным членом. В 1963 году он был избран членом Президиума Академии.

Владимир Николаевич Челомей основал в МВТУ имени Н.Э. Баумана кафедру «Динамика машин» и в течение 15 лет до конца своей жизни беспрерывно руководил ею. Он был выдающимся педагогом, блестящим популяризатором науки. Учителем и ориентиром для сотен инженеров, научным руководителем для 70 кандидатов, консультантом для 30 докторов наук. Подробно об этом будет рассказано в следующем докладе. Владимир Николаевич был автором и главным редактором целого ряда научных изданий.

На одной из своих лекций он так обратился к студентам:

«Не думайте, что всё уже открыто и сделано в механике, в этой одной из древнейших наук. Здесь также много неоткрытого и необъяснённого. Только мы часто проходим мимо совершенно необычных явлений, не замечая их. Очень важно научиться видеть эти необычные явления, а потом понять их и объяснить».

В 1964 году Владимиру Николаевичу была присуждена золотая медаль имени Жуковского за лучшую работу по теории авиации, а в 1977 году он удостоивается Золотой медали имени Ляпунова – высшей награды Академии наук СССР за выдающиеся работы в области математики и механики, которой он очень гордился.

Владимир Николаевич пользовался огромным авторитетом и как активный общественный деятель, депутат Верховного совета СССР. Он избирался депутатом трёх созывов по избирательному округу города Чебоксары и очень много сделал для своих избирателей.

Город Реутов обязан В.Н. Челомею строительством жилых кварталов, детских садов, городского стадиона «Старт», больницы, подземных переходов под железнодорожными путями, Дворца культуры «МИР».

Смерть внезапно оборвала жизнь Владимира Николаевича, и он не смог увидеть многих результатов своего труда, но еще долго научные идеи академика Челомея, высказанные им мысли, оригинальные технические решения и практические разработки будут служить на благо отечественной науки и техники.

Его именем названы улицы в Москве и Чебоксарах, улица и площадь в Реутове, малая планета солнечной системы. В России, Казахстане и на Украине установлены памятники академику Челомею, открыты мемориальные доски, на территории НПО машиностроения создан мемориальный кабинет-музей.

В соответствии с приказом Генерального директора АО «ВПК «НПО машиностроения» Александра Георгиевича Леонова был утвержден и в течение года успешно претворяется в жизнь план подготовки и проведения целого ряда мероприятий к 110-летию со дня рождения академика Челомея и другим юбилейным датам 2024 года. В январе с успехом прошли в Реутове Челомеевские чтения. Кроме того, состоялись конкурс научных и научно-технических работ на присуждение премии имени академика Челомея и отраслевая научно-техническая конференция. В музейном комплексе предприятия открыт новый зал, посвященный Челомею, с демонстрацией различных документов и личных вещей Владимира Николаевича, в том числе переданных его внуком Николаем Талызиным. Выставка, посвященная Владимиру Николаевичу, открыта в Мемориальном музее космонавтики (г. Москва) и Музее космонавтики села Архипо-Осиповка – крупнейшего космического музея на Юге России. В планетарии Нижнего Новгорода появилась экспозиция, посвященная разработкам предприятия в области освоения космоса. Передвижные выставки работают во всех образовательных и культурных учреждениях Наукограда Реутов.

Завершающими мероприятиями станет обновление экспозиции, посвященной Владимиру Челомею, в Музее истории космонавтики имени Ф.А. Цандера в г. Кисловодске и Музее космодрома «Восточный» в г. Циолковский.

Имя Владимира Николаевича Челомея – замечательного ученого, конструктора, великого человека – навсегда вписано в историю нашей страны, ее ракетно-космической отрасли. Он оставил богатое наследие – техническое, научное, педагогическое. И главное, что считал важным сам Челомей, остались ученики, последователи, продолжатели его дела.

## **Литература**

1. Бодрихин Н.Г. Челомей / М.: Молодая гвардия, Серия: Жизнь замечательных людей, 2017.
2. Челомей В.Н. Избранные труды / М.: Машиностроение, 1989.
3. Сачков В.В. Полвека на переднем крае / Реутов: АО «ВПК «НПО машиностроения», 2018.
4. Поляченко В.А. 25 Челомеевских лет. Записки конструктора / Реутов: АО «ВПК «НПО машиностроения», 2023.

УДК 629.78(091)  
eLIBRARY.RU 12.31.00, 89.25.00

**Нестеров Е.А.**

**Nesterov E.A.**

кандидат экономических наук  
генеральный директор АО «РЕШЕТНЁВ»

**Туркенич Р.П.**

**Turkenich R.P.**

кандидат технических наук  
главный эксперт АО «РЕШЕТНЁВ»  
г. Железногорск, Красноярского края

## **ОН СТРОИЛ МОСТЫ ЧЕРЕЗ КОСМОС. К 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА М.Ф. РЕШЕТНЁВА**

## **HE BUILT BRIDGES ACROSS THE SPACE. ON THE 100TH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN M.F. RESHETNEV**

**Аннотация.** 4 июня 1959 года в закрытом г. Красноярск-26 ныне г. Железногорск был образован сибирский филиал королёвского ОКБ-1, руководителем которого, по инициативе С.П. Королева, был назначен М.Ф. Решетнёв. В течение 36 лет (с 1959 по 1996 гг.) он непосредственно возглавлял работы в области создания КА и систем спутниковой связи, ретрансляции, навигации и геодезии, являясь Генеральным конструктором и генеральным директором одного из ведущих предприятий космической отрасли страны

**Ключевые слова:** сибирский филиал ОКБ-1, С.П. Королев, М.Ф. Решетнёв, космические аппараты и системы связи, ретрансляции, навигации и геодезии, ведущее предприятие космической отрасли.

**Abstract.** June 4, 1959 in a closed Siberian town of Krasnoyarsk-26

(nowadays the town of Zheleznogorsk) a branch of the Korolev OKB-1 was established, which, by initiative of S.P. Korolev, was headed by M.F. Reshetnev. For 36 years (1959 - 1996) he was directly in charge of spacecraft and satellite communications systems, data relay, navigation and geodesy systems development, being the chief designer and chief officer of one of the leading space industry companies in the country.

**Keywords:** siberian branch of the OKB-1, S.P. Korolev, M.F. Reshetnev, spacecraft and satellite communications systems, data relay, navigation and geodesy systems, leading space industry companies in the country.

За 65 лет своего развития филиал № 2 ОКБ-1, затем ОКБ-10, КБ ПМ, НПО ПМ и теперь акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», или более кратко АО «РЕШЕТНЁВ» прошло вместе с отраслью и страной огромный путь, стало одним из ведущих предприятий в стране. На различных околоземных орбитах действуют уникальные космические группировки связи, телевещания, ретрансляции информации, геодезии, навигации. На основе системного, индустриального подхода здесь сконструировано 5 поколений спутников различного класса и назначения – от малых низкоорбитальных до самых мощных геостационарных. Более 75% КА, составляющие современную российскую орбитальную группировку, разработаны и изготовлены на этом предприятии [1].

Современное АО «РЕШЕТНЁВ» – это интеллектуально-инновационный кластер, интегрирующий в своих разработках лучшие достижения мировой космонавтики, среди которых «Сфера» – новая перспективная многоуровневая спутниковая программа, над которой сейчас активно работают сибирские спутникостроители.

### **Литература**

1. Космическая связь, телевещание, навигация и геодезия /История Сибирского ракето и спутникостроения (1959-2013г).Том1.Витки Сибирской космической спирали.– Железногорск: АО «РЕШЕТНЁВ», 2024.–820 с.

**Дубинин В.И.**

**Dubinin V.I.**

кандидат технических наук

заместитель начальника

ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»

по науке и развитию

**ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ОТБОРА В КОСМОНАВТЫ  
В ЦЕНТРЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ИМЕНИ  
Ю.А. ГАГАРИНА. К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
Ю.А. ГАГАРИНА**

**EVOLUTION OF THE COSMONAUT SELECTION SYSTEM  
YU.A.GAGARIN COSMONAUT TRAINING CENTER. TO THE  
90TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF YU.A. GAGARIN**

**Аннотация.** Система отбора космонавтов Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина начала формироваться в 1960 году с момента создания ЦПК. Важнейшее влияние на определение базовых принципов отбора оказали космонавты первого набора и первый командир отряда космонавтов – Ю.А. Гагарин. Система отбора космонавтов развивалась от специализированных ведомственных отборов до открытых наборов и пролонгированного отбора в процессе подготовки космонавтов. Эволюция системы отбора космонавтов определяется требованиями к освоению пилотируемых космической кораблей и средств подготовки космонавтов, направлениями научно-прикладных космических исследований, национальными стратегическими целями освоения космического пространства.

**Ключевые слова:** 90-летие рождения Ю.А. Гагарина, система отбора космонавтов, система подготовки космонавтов, средства подготовки космонавтов, пролонгированный отбор, научная школа ЦПК.

**Abstract.** Cosmonaut selection system Yu.A.Gagarin cosmonaut training center (GCTC) began formed in 1960 with the creation of GCTC. The most important influence on the determination of the basic selections was exerted by the cosmonauts of the first set and the first commander of cosmonaut corps, Yu.A. Gagarin. The cosmonaut selection system developed from specialized departmental selections to open recruitment and prolonged selection in the process of cosmonaut training. The evolution of

the cosmonaut selection system is determined by the requirements for the development of manned spacecraft and cosmonaut training facilities, areas of scientific and applied space research, and national strategic goals for space exploration.

**Keywords:** 90th anniversary of the birth of Yu.A. Gagarin, cosmonaut selection system, cosmonaut training system, cosmonaut training facilities, prolonged selection, GCTC scientific school.

Неотъемлемыми составляющими полётов человека в космос являются этапы организации и отбора претендентов для полётов в космос, подготовки к полёту и, непосредственно, – космический полёт. Содержание этапов и состав мероприятий этапов существенно зависят от роли человека в космическом полёте: является ли он профессиональным космонавтом (с той или иной ролью в экипаже космического корабля), участником космического полёта или пользователем туристической услуги.

В СССР, как государственная цель, задачи первого пилотируемого космического полета сформированы в начале 1959 года Постановлениями ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 22-10 от 05.01.1959 г. и № 569-264 от 22.05.1959 г.

11 января 1960 года директивой № 321141 Главкомандующего ВВС организована специальная воинская часть 26266 - Центр подготовки космонавтов ВВС, задачей которой определена подготовка человека к полётам в космос. В настоящее время фактическим приемником в/ч 26266 является ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», которое как Учреждение Госкорпорации «Роскосмос», исполняет государственную функцию по отбору, подготовке и послеполетной реабилитации космонавтов.

В марте 1960 года в эту воинскую часть прибыла первая группа кандидатов на космический полет, отбор в которую был выполнен по профессии из лётчиков ВВС с учётом состояния здоровья, ограничений к параметрам фигуры, определёнными габаритами космического корабля «Восток».

12 апреля 1961 года в 9.07 (по московскому времени) состоялся старт первого в мире пилотируемого космического корабля с первым космонавтом Земли – Ю.А. Гагариным, который доказал возможность полёта человека в космос, в том числе – поставил задачу сформировать обоснованные требования к процедуре и параметрам отбора в космонавты.

В формировании сложившейся системы отбора определяющий вклад привнесли учёные и сотрудники организаций, в настоящее время

имеющих названия ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (далее - Центр), ИМБП РАН – ГНЦ РФ и ПАО «РКК «Энергия».

### **Развитие системы отбора**

Система отбора прошла путь от специализированных ведомственных наборов с подготовкой в составе групп специализаций и экипажей (по согласованным программам на базе Центра), к открытым наборам космонавтов с 2012 года. Всего в Центре был осуществлен 21 отбор, из них – 4 по программам открытого.

Требования к системе отбора космонавтов формировались в первую очередь текущими целями, программами и задачами освоения космического пространства, медицинскими требованиями и внедрёнными профилактическими и реабилитационными мероприятиями, требованиями, формируемыми разработчиками по освоению пилотируемых космических объектов (далее – ПКО), возможностями технических средств подготовки космонавтов (далее - ТСПК), направлениями и содержанием научно-прикладных космических исследований и экспериментов.

ТСПК, освоение которых выполняет космонавт до космического полёта, прошли трансформацию от отдельных учебно-тренировочных средств с элементами тренажёров, системы комплексных тренажёров модулей ПКО и направлений профессиональной деятельности, к сложной системе – тренажёрному комплексу с системами коллективного пользования и унифицированными сервисами.

Адекватность реализуемой системы отбора определяется результатами космических полётов и опытом космонавтов, прошедших подготовку и совершивших полёты в космос, их последующей профессиональной деятельностью, что, в своей основе, также было заложено традициями отряда первых космонавтов.

К системе отбора, по многолетнему опыту подготовки в Центре, можно в настоящее время добавить и процедуры «продолженного отбора» – определения предрасположенности и предпочтений космонавтов к перенесению факторов космического полёта в процессе подготовки космонавтов в составе групп и к реализации программ до- и послеполётных исследований.

### **Роль структурных подразделений и научных школ Центра в отборе космонавтов**

Структурные подразделения ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», обеспечивающие в составе Центра непосредственно подготовку космонавтов включают подразделения, в которых ведутся научно-исследовательские, опытно-конструкторские, экспертные и

экспериментальные работы по направлениям совершенствования процессов отбора, подготовки и реабилитации космонавтов, эргономики космических систем «человек – машина», исследования робототехнических и интеллектуальных систем для пилотируемых космических полётов, безопасности деятельности экипажей на борту ПКО, созданию, производству и эксплуатации ТСПК.

Ведущие сотрудники подразделений, обладающие многолетним опытом подготовки космонавтов по различным системам ПКО, научным программам, подготовки в экстремальных условиях, включаются в состав комиссий по определению профессиональной пригодности претендентов к освоению космической техники и непосредственно участвуют в тестировании качеств претендентов.

Существующий индивидуальный подход в системе отбора определяется компетенцией сотрудников Центра в создании и применении ТСПК в процессе отбора и подготовки. Центр последовательно развивался от инструкторской работы, эксплуатации тренажёров и их испытаний к функционалу головного разработчика, заказчика составных частей ТСПК. Совершенствование системы отбора осуществляется в рамках деятельности научной школы Центра «Обоснование, разработка и развитие общей методологии и системы подготовки космонавтов»



**VIII Симпозиум  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ РОССИЙСКИХ  
МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ»**

УДК 681.2  
eLIBRARY.RU: 59.31.37

**Белоконов И.В.  
Belokonov I.V.**

доктор технических наук, профессор  
заведующий межвузовской кафедрой  
космических исследований  
Самарского национального  
исследовательского университета  
имени академика С.П. Королева

**ПРОЕКТ ГРУППИРОВКИ НАНОСПУТНИКОВ  
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ САМАРСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА: ТЕКУЩИЙ ЭТАП И ПЛАНЫ СОЗДАНИЯ  
В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «УНИВЕРСАТ»**

**THE PROJECT OF GROUPING NANOSATELLITES FOR  
MONITORING THE STATE OF THE IONOSPHERE OF SAMARA  
UNIVERSITY: THE CURRENT STAGE AND PLANS  
FOR CREATION WITHIN THE FRAMEWORK OF THE  
PROGRAM "UNIVERSAT"**

**Аннотация.** С 2022 года в Самарском университете реализуется программа создания наноспутников формата 3U для мониторинга состояния ионосферы на базе платформы собственной разработки. Описываются текущие результаты и планы развития на 2024-2025 гг. Создаваемые наноспутники будут дополнять группировку КА «Ионосфера» ГК Роскосмос, развёртывание которой запланировано в тот же период времени.

**Ключевые слова:** наноспутник, ионосфера, навигационный приёмник, датчик плазмы, радиопросвечивание.

**Abstract.** Since 2022, Samara University has been implementing a program to create 3U nanosatellites for monitoring the state of the ionosphere based on a platform of its own design. The current results and

development plans for 2024-2025 are described. The nanosatellites being created will complement the “Ionosphere” group of Roscosmos State Corporation spacecraft, the deployment of which is planned for the same time period.

**Keywords:** nanosatellite, ionosphere, navigating receiver, plasma sensor, radio transparency.

Ионосфера оказывает сильное влияние на качество спутниковой связи и навигации; кроме того, её состояние отражает процессы, происходящие внутри Земли, и может рассматриваться как предвестники землетрясений и цунами. Для мониторинга её состояния все чаще используются недорогие космические аппараты нанокласса, которые создаются из коммерческих компонентов в короткие сроки. Для развития этого направления на межвузовской кафедре космических исследований Самарского университета созданы центр наноспутниковых технологий, центр испытаний наноспутников и центр управления полетами. В 2022 году были завершены работы по созданию наноспутниковой платформы в целях полной технологической независимости от иностранных комплектующих, на базе которой был создан экспериментальный наноспутник SamSat-ION (рис.1) для отработки бортовых систем, научной аппаратуры и программного обеспечения. Спутник был запущен для проведения лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ) 27 июня 2023 г. на солнечно-синхронную орбиту в рамках программы «УНИВЕРСАТ» ГК Роскосмос, которая с привлечением компании «Орбитальные системы» предоставляет уникальные возможности российским университетам проводить исследования в интересах государственных заказчиков.

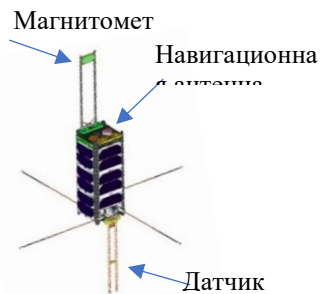


Рис. 1. Наноспутник SamSat-ION/СамСат-Ионосфера

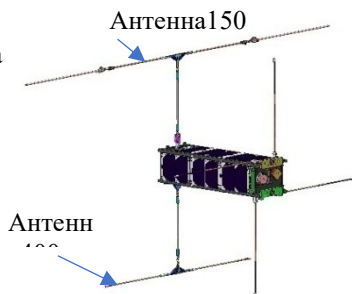


Рис. 2. Наноспутник СамСат-ОРИОН

В состав научной аппаратуры были включены выносной высокочувствительный магнитометр, двухчастотный навигационный приёмник сигналов ГЛОНАСС собственной разработки для измерения полного электронного содержания в верхней ионосфере, датчик плазмы для измерения концентрации электронов на орбите, созданный совместно с учёными Института прикладной физики РАН.

Экспериментальный датчик плазмы состоит из резонатора и блока электроники, электрически соединённых друг с другом двумя коаксиальными экранированными кабелями, конструкция которого описана в статье [1]. Для исследования ионосферной концентрации в диапазоне  $10^3$ – $10^6$  см<sup>-3</sup> оптимальным является резонатор с собственной частотой  $f_0 = 100$  МГц и длиной 28 см. По итогам ЛКИ была проведена доработка ряда бортовых систем и программного обеспечения и создан новый наноспутник того же назначения, получивший название СамСат-Ионосфера, запуск которого запланирован на ноябрь 2024 года.

В настоящий момент завершается работа над наноспутником СамСат-ОРИОН (рис 2), на котором в дополнение к навигационному приёмнику научного назначения предполагается установка прибора МАЯК разработки ИКИ РАН для исследования нижней ионосферы методом радиопросвечивания. Запуск наноспутника запланирован также в рамках программы «УНИВЕРСАТ» в первом полугодии 2025 г.

По результатам запланированных ЛКИ может быть рассмотрен вопрос о создании и развертывании группировки наноспутников для непрерывного мониторинга состояния ионосферы. Оснащение межвузовской кафедры космических исследований позволяет изготавливать до десяти наноспутников в год, аналогичных вышеперечисленным спутникам.

### **Литература**

1. Galka, A.G., Kostrov, A.V., Malyshev, M.S. Resonance Method for Measurement of the Ionospheric Plasma Density on Board Microsatellites. Tech. Phys. 67, 771–778 (2022).

**Майорова В.И.**

**Mayorova V.I.**

доктор технических наук, профессор

**Рачкин Д.А.**

**Rachkin D.A.**

**Тененбаум С.М.**

**Tenenbaum S.M.**

**Мельникова В.Г.**

**Melnikova V.G.**

**Лазарев Н.Д.**

**Lazarev N.D.**

**Егорочкин К.А.**

**Egorochkin K.A.**

**Заичкин И.Н.**

**Zaichkin I.N.**

**Захаркин В.С.**

**Zakharkin V.S.**

**Головин А.А.**

**Golovin A.A.**

**Горшкова Т.А.**

**Gorskova T.A.**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

**ОПЫТ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ  
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРЫ АИС НА БОРТУ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ТИПА CUBESAT**

**FLIGHT EXPERIENCE IN SPACE WEATHER MONITORING AND  
USING AIS EQUIPMENT ON-BOARD A CUBESAT SPACECRAFT**

**Аннотация.** В работе представлены результаты лётных испытаний полезных нагрузок: детектора заряженных частиц «ГАМВЭКИ» и аппаратуры автоматической идентификации судов – на малых космических аппаратах CubeSat 6U-XL «Хорс» № 1 и «Хорс» № 2, запущенных на орбиту 550 км 27 июня 2023 года.

**Ключевые слова:** наноспутник, малый космический аппарат, гелиогеофизический мониторинг, ДЗЗ, Автоматическая идентификационная система.

**Abstract.** The paper presents the payloads flight tests results: the charged particle detector «GAMVEKI» and automatic vessel identification system on-board «Horse» № 1 and «Horse» № 2 CubeSat 6U-XL satellites, launched into a 550 km orbit on June 27, 2023.

**Keywords:** nanosatellite, CubeSat, heliogeophysical monitoring, Earth remote sensing, Automatic Identification System.

МГТУ им. Н.Э. Баумана были созданы экспериментальные образцы малых космических аппаратов (МКА) «Хорс» № 1 (NoradID 57188) и «Хорс» № 2 (NoradID 57196) типа CubeSat 6U-XL [1], которые были выведены на орбиту 27 июня 2023 года в рамках программы «УниверСат».

Аппараты оснащены миниатюрной гелиогеофизической аппаратурой – детекторами заряженных частиц «ГАМВЭКИ». Приборы предназначены для мониторинга космической погоды, а именно получения данных о пространственной структуре (плотности) потоков электронов и протонов в радиационных поясах счетчиками Гейгера-Мюллера.

Наноспутники выведены попутным запуском с КА «Метеор-М» № 2-3 на круговую полярную орбиту высотой 550 км. Мониторинг заряженных частиц при различных гелиогеофизических условиях на указанной орбите необходим для оперативного прогноза радиационной обстановки на высотах пилотируемых полетов, а также для оценки влияния солнечной активности и уточнения прогноза срока активного существования низкоорбитальных спутников. Данные, получаемые с «ГАМВЭКИ» (рисунок 1), дополняют информацию с целевых метеорологических аппаратов на орбитах около 800 км. Особый научный интерес представляет информация о потоке частиц при пролете над Бразильской аномалией.

Для получения достоверных данных, детекторы прошли калибровку. Метод калибровки основан на результатах калибровки аналогичных детекторов, применяемых на других федеральных метеорологических космических аппаратах.

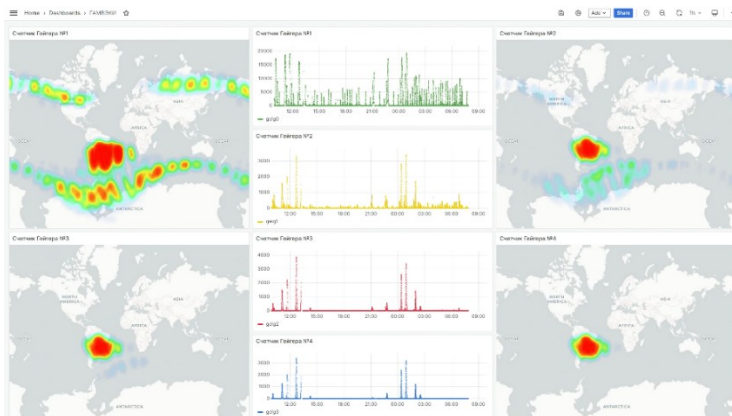


Рис. 1. Пример данных, получаемых с прибора «ГАМВЭКИ»

Также аппараты оснащены тестовыми приемниками автоматической идентификационной системы (АИС) морских и речных судов нашей разработки. Сейчас со спутников получено более 280,000 сообщений АИС, в среднем по 2,600 сообщений в день с обоих космических аппаратов. Эти сообщения содержат подробную информацию о местоположении, скорости и курсе судна. Спутниковые данные были верифицированы по данным АИС из систем отслеживания судов «Виктория NEXT» и MarineTraffic.

Система АИС была разработана на основе печатного узла, в основу которого входит радиомодем, используемый в МКА «Ярило» № 3 и № 4 [2, 3]. Опыт эксплуатации этого радиомодема позволил использовать его для создания надежного радиоприемника.

В ходе летных испытаний было проанализировано распределение количества принятых сообщений относительно расстояния между кораблем и космическим аппаратом, а также количество сообщений относительно сдвига Доплера (рисунок 2).

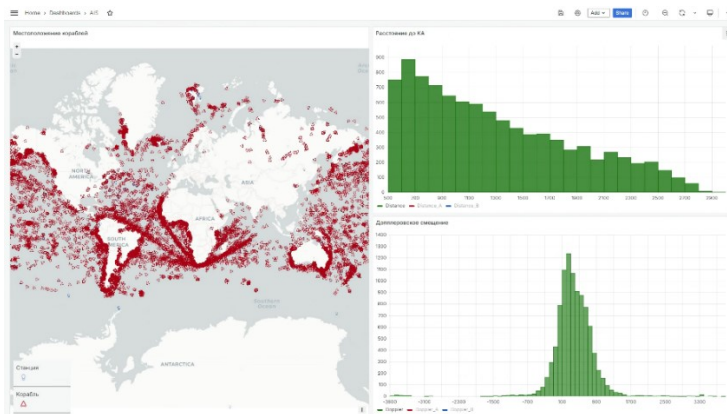


Рис. 2. Пример данных, получаемых за сутки с приёмника АИС

Аппараты подтвердили целесообразность их использования в исследованиях гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве и мониторинге транспортных средств. Это является практическим результатом взаимодействия Университета с заинтересованными в этом деле организациями потребителями данных Росгидрометом – ФГБУ «ИПГ» и Минтрансом – ФГУП «Морсвязьспутник». В настоящее время аппараты находятся в режиме непрерывного оперативного мониторинга.

### Литература

1. Рачкин Д.А., Тененбаум С.М., Мельникова В.Г., Лазарев Н.Д., Егорочкин К.А. и др. Платформа CubeSat 6U XL, разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана, для решения научных и прикладных задач // Идеи Циолковского в теориях освоения космоса. Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга. - 2023. - С. 54-57.
2. Рачкин Д.А., Тененбаум С.М., Мельникова В.Г., Майорова В.И. Разработка МКА типоразмера CubeSat – опыт МГТУ им. Н.Э. Баумана // К.Э. Циолковский и прогресс науки и техники в XXI веке. Материалы 56-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга. - 2021. - С. 24-27.
3. Тененбаум С.М., Рачкин Д.А., Мельникова В.Г., Головин А.А., Егорочкин К.А. и др. Наноспутники «Ярило» №3 и №4 для исследования космической погоды// XLVI Академические чтения по

космонавтике. Сборник тезисов, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. В 4-х томах. Москва, - 2022. - С. 289-293.

УДК: 520.662, 523.4-854  
eLIBRARY.RU: 89.15.00

**Свертилов С.И.**

**Svertilov S.I.**

доктор физико-математических наук  
заведующий кафедрой физики космоса  
физического факультета МГУ, г. Москва

**Твердохлебова Е.И.**

**Tverdokhlebova E.I.**

доктор технических наук  
начальник Центра АО «ЦНИИмаш», г. Королев

**Оседло В.И.**

**Osedlo V.I.**

кандидат физико-математических наук  
заместитель директора НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Шувалов В.А.**

**Shuvalov V.A.**

кандидат технических наук  
ведущий научный сотрудник АО «ЦНИИмаш»

**Каваносян С.С.**

**Kavanosyan S.S.**

главный специалист АО «ЦНИИмаш», г. Королев

**Богомолов В.В.**

**Bogomolov V.V.**

кандидат физико-математических наук  
доцент кафедры физики космоса  
физического факультета МГУ, г. Москва

**Богомолов А.В.**

**Bogomolov A.V.**

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Гарипов Г.К.**

**Garipov G.K.**

старший научный сотрудник НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Июдин А.Ф.**



**Yudin A.F.**

доктор физико-математических наук  
заведующий лабораторией НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Калегаяев В.В.**

**Kalegaev V.V.**

доктор физико-математических наук  
заведующий отделом НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Климов П.А.**

**Klimov P.A.**

кандидат физико-математических наук  
заведующий лабораторией НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Сазонов В.В.**

**Sazonov V.V.**

доктор физико-математических наук  
декан факультета космических исследований МГУ, г. Москва

**Яшин И.В.**

**Yashin I.V.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ, г. Москва

**РАЗВЕРТЫВАНИЕ ГРУППИРОВКИ НАНО-СПУТНИКОВ  
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА С ЦЕЛЬЮ  
МОНИТОРИНГА ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, А ТАКЖЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ  
И СОЛНЕЧНЫХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ**

**DEPLOYMENT OF MOSCOW UNIVERSITY NANO-SATELLITE  
CONSTELLATION FOR MONITORING OF HIGH ENERGY  
ELECTRON FLUX VARIATION S AND ASTROPHYSICAL AND  
SOLAR GAMMA-RAY BURSTS**

**Аннотация.** Продолжается развертывание группировки нано-спутников Московского университета «Созвездие-270». К настоящему времени запущено 18 спутников формата кубсат с аппаратурой для мониторинга космической радиации и электромагнитных транзиентов. Зарегистрированы разные типы вариаций потоков субрелятивистских электронов, несколько десятков гамма-всплесков астрофизического и солнечного происхождения.

**Ключевые слова:** группировка, нано-спутники, кубсаты, электроны, гамма-кванты, вариации, всплески.

**Abstract.** The deployment of Moscow University nano-satellite constellation Sozvezdie-270 continues. To date, 18 cubesat satellites have been launched with instruments for monitoring space radiation and electromagnetic transients. Different types of variations of subrelativistic electron fluxes and several dozen gamma-ray bursts of astrophysical and solar origin have been detected.

**Keywords:** constellation, nano-satellites, cubesats, electrons, gamma-quanta, variations, bursts.

Продолжается развертывание группировки нано-спутников Московского университета «Созвездие-270». К настоящему времени запущено 18 спутников формата кубсат, 9 из которых продолжают функционировать на орбите. Также проект «Созвездие-270» предполагает создание сети приемных станций, распределенных по меридианам. Должно быть развернуто не менее 5 наземных приемных пункта с использованием антенн, работающих в УКВ, S и X диапазонах в регионах от Калининградской области до Камчатки. В результате будет создана единая система в составе космического и наземного сегментов.

Основной задачей мульти-спутниковой группировки является мониторинг космической радиации и электромагнитных транзиентов различной природы, в том числе атмосферного, астрофизического и солнечного происхождения. Для проведения экспериментов на спутниках формата кубсат разработаны различные приборы для регистрации заряженных частиц высоких энергий, а также оптического свечения атмосферы. Предполагается расширить тематику экспериментов, которые должны также охватить исследования в области астробиологии, межспутниковой связи и др. Особенно следует отметить возможности создаваемой мульти-спутниковой группировки в плане обеспечения различных проектов по освоению Арктического региона.

К настоящему времени получена важная информация об эффектах космической погоды, связанных с различными проявлениями вспышечной активности Солнца и ее влиянием на геомагнитную обстановку в околоземном пространстве [1]. В частности, получены данные о динамике потоков суб-релятивистских электронов в областях высыпаний из внутреннего ( $L \sim 1,7-1,8$ ) и внешнего поясов – так называемая, область «зазора» ( $L \sim 2,2-3,0$ ), получены новые данные о быстрых вариациях потоков электронов на арктической кромке внешнего пояса и в полярной шапке, обусловленные эффектами изотропизации и высыпаниями из «хвоста» магнитосферы.

Особо следует отметить результаты наблюдений явлений, приводящих к существенному изменению радиационных условий в околоземном пространстве. В частности, к таким явлениям относится проникновение солнечных космических лучей в области полярных шапок, приводящее к существенной перестройке радиационных полей во внутренней магнитосфере. Также важным для определения локальных дозовых нагрузок на заданных орбитах является изменение пространственной структуры распределения потоков электронов высоких энергий во внешнем поясе вследствие магнитных бурь, в свою очередь обусловленных изменением параметров солнечного ветра вследствие активных процессов на Солнце [2].

Было зарегистрировано несколько десятков гамма-всплесков астрофизического и солнечного происхождения, составлены соответствующие каталоги.

Таким образом, реализуется проект создания уникальной мульти-спутниковой группировки, позволяющей проводить одновременные измерения потоков частиц и квантов, а также транзитных атмосферных явлений с помощью однотипной аппаратуры в разных точках околоземного пространства, что позволяет получить текущую картину и прогнозную оценку радиационных условий в значительной области околоземного пространства.

### Литература

1. Bogomolov A.V., Bogomolov V.V., Iyudin A.F., et al. Space Weather Effects from Observations by Moscow University Cubesat Constellation // *Universe* (Special Issue Space Weather in the Sun–Earth System) – 2022 - V.8(5) - №282 - 15 p. - DOI: <https://doi.org/10.3390/universe8050271>.
2. Observations of Space Weather Effects from the Moscow University Nano-satellite Constellation Sozvezdie-270. Sergey Svertilov, Vitaly Bogomolov, Andrey Bogomolov, et al. // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Proc. of the XIII Int. Conf. Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors (Eds Alexei Dmitriev, Janos Lichtenberger, Oksana Mandrikova, Emmanuel Nahayo) – 2023 - ISBN 978-3-031-50247-7 - p. 197-210 - [https://doi.org/10.1007/978-3-031-50248-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-50248-4_21).

УДК: 520.662, 523.4-854  
eLIBRARY.RU: 89.15.00

**Богомолов В.В.  
Bogomolov V.V.**

кандидат физико-математических наук  
доцент

**Свертилов С.И.**

**Svertilov S.I.**

доктор физико-математических наук  
заведующий кафедрой физики космоса

**Кучеренко И.А.**

**Kucherenko I.A.**

аспирант

**Воскресенсков Е.Д.**

**Voskresenskov E.D.**

студент

физический факультет МГУ, г. Москва

**Июдин А.Ф.**

**Yudin A.F.**

доктор физико-математических наук  
заведующий лабораторией

**Оседло В.И.**

**Osedlo V.I.**

кандидат физико-математических наук  
заместитель директора

**Антонюк Г.И.**

**Antonyuk G.I.**

ведущий электроник

**Бенгин В.В.**

**Bengin V.V.**

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

**Богомолов А.В.**

**Bogomolov A.V.**

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

**Золотарев И.А.**

**Zolotarev I.A.**

кандидат физико-математических наук  
научный сотрудник

**Нечаев О.Ю.**

**Nechaev O.Y.**

главный специалист

**Яшин И.В.**

**Yashin I.V.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник  
НИИЯФ МГУ, г. Москва

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРЫХ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА- ВСПЛЕСКОВ НА СПУТНИКАХ ФОРМАТА КУБСАТ**

### **ADVANCED INSTRUMENTS FOR STUDY ELECTRON FLUX FAST VARIATIONS AND GAMMA RAY BURSTS ON SATELLITES OF CUBESAT FORMAT**

**Аннотация.** В НИИЯФ МГУ разработан ряд приборов для мониторинга космической радиации и электромагнитных транзиентов атмосферного, солнечного и астрофизического происхождения на спутниках формата кубсат. Обсуждаются основные характеристики этих приборов, результаты и перспективы экспериментов с ними на космических аппаратах мульти-спутниковой группировки Московского университета «Созвездие-270».

**Ключевые слова:** детекторы, гамма-кванты, электроны, электромагнитные транзиенты, нано-спутники, кубсаты.

**Abstract.** SINP MSU has developed a number of instruments for monitoring of space radiation and electromagnetic transients of atmospheric, solar and astrophysical origin on cubesat satellites. The main parameters of these instruments, the results and perspectives of experiments with them on spacecraft of the Moscow University multi-satellite constellation Sozvezdie-270 are discussed.

**Keywords:** detectors, gamma quanta, electrons, electromagnetic transients, nano-satellites, cubesats.

Для применения на космических аппаратах формата кубсат в НИИЯФ МГУ разработаны новые компактные приборы, предназначенных для регистрации различных компонентов космической радиации [1, 2]. Также разработаны приборы для наблюдений свечения атмосферы Земли в УФ диапазоне и мониторинга ЭМ транзиентов, связанных с высотными молниевыми разрядами [3]. Относительно иных аналогичных мировых образцов указанные приборы имеют повышенную чувствительность за счёт высокой избирательности регистрируемых типов излучений, хорошее спектральное и временное разрешение, возможность предварительной обработки информации на борту космического аппарата.

Среди этих приборов:

- детекторы космической радиации (ДеКоР-1, ДеКоР-2, ДеКоР-3);
- комбинированный детектор излучений (КОДИЗ);
- спектрометр универсальный полупроводниковый (СУП);
- спектрометр-анализатор частиц низких энергий САЧНЭ;
- аппаратура для мониторинга УФ излучения атмосферы Земли (фотометры АУРА, АУРА-2, малый линзовый телескоп МЛТ).

Часть указанных приборов уже прошли летную квалификацию в составе космических аппаратов формата кубсат, выведенных на орбиту в рамках реализации проекта создания мульти-спутниковой группировки Московского университета «Созвездие-270». Среди них спутник Авион, выполненный в стандарте кубсат-6U, и ряд спутников в стандарте кубсат-3U: Монитор-2,3,4, Sirius-SINP-3U, UTMN2, САТУРН. Эти научно-образовательные космические аппараты оснащены одним или несколькими приборами ДеКоР-1. ДеКоР-2, ДеКоР-3, а спутник САТУРН – с прибором АУРА-2.

В 2024 г планируются к запуску кубсат формата 6U «Альтаир», оснащенный приборами ДеКоР-2, ДеКоР-3 и СУП, а также кубсат формата 3U АрктикСат с прибором ДеКоР-2.

Также ведется разработка нового космического аппарата «Скорпион», представляющего собой кубсат формата 16U, который будет оснащен новыми приборами, которые позволят проводить комплексные исследования высотных атмосферных разрядов в различных диапазонах электромагнитного спектра, осуществлять наблюдения астрофизических гамма-всплесков, а также измерять пространственно-энергетические характеристики потоков электронов и протонов высоких энергий в околоземном пространстве. Кроме того, на этом спутнике будут проводиться астробиологические исследования, посвященные изучению выживаемости микроорганизмов при воздействии различных факторов космического полета.

Следует отметить, что все космические аппараты, уже запущенные и разрабатываемые, предназначены как для проведения научных исследований, так и для проведения занятий со студентами и школьниками.

## **Литература**

1. Bogomolov A.V., Bogomolov V.V., Iyudin A.F., et al. Space Weather Effects from Observations by Moscow University Cubesat Constellation // *Universe* (Special Issue Space Weather in the Sun–Earth System) – 2022 - V.8(5) - №282 - 15 p. - DOI: <https://doi.org/10.3390/universe8050271>

2. Advanced Instruments for Geo and Helio Environment Monitoring on the Cubesat Format Spacecraft. Vitaly Bogomolov, Sergey Svertilov, Vladislav Osedlo, et al. // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Proc. of the XIII Int. Conf. Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors (Eds Alexei Dmitriev, Janos Lichtenberger, Oksana Mandrikova, Emmanuel Nahayo) – 2023 - ISBN 978-3-031-50247-7 - p. 104-112 - [https://doi.org/10.1007/978-3-031-50248-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-031-50248-4_11).

3. Глинкин Е.В., Климов П.А., Мурашов А.С. и Д.В. Чернов. Детектор излучения атмосферы АУРА на основе кремниевых фотоумножителей для малых космических аппаратов типа кубсат. // Приборы и техника эксперимента – 2021 - №2 - с. 121–127.

УДК: 520.662, 523.4-854  
eLIBRARY.RU: 89.15.00

**Гарипов Г.К.**

**Garipov G.K.**

старший научный сотрудник, НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Рубин А.Б.**

**Rubin A.B.**

доктор биологических наук, академик РАН  
заведующий кафедрой биофизики

**Погосян С.И.**

**Pogosyan S.I.**

доктор биологических наук  
профессор кафедры биофизики  
Биологический факультет МГУ, г. Москва

**Андреев Д.Е.**

**Andreev D.E.**

доктор химических наук  
заведующий лабораторией НИИ ФХБ МГУ, г. Москва

**Копюхов И.В.**

**Kopyukhov I.V.**

кандидат биологических наук  
старший научный сотрудник  
Биологический факультет МГУ, г. Москва

**Оседло В.И.**

**Osedlo V.I.**

кандидат физико-математических наук  
заместитель директора НИИЯФ МГУ, г. Москва

**Свертилов С.И.**

**Svertilov S.I.**

доктор физико-математических наук  
заведующий кафедрой физики космоса  
Физический факультет МГУ, г. Москва

## **АСТРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА СПУТНИКАХ ФОРМАТА КУБСАТ**

### **ASTROBIOLOGY EXPERIMENTS ON CUBESAT SATELLITES**

**Аннотация.** В докладе обсуждаются вопросы поиска внеземных микроорганизмов на удаленных космических объектах и изучения динамики выживания земных микроорганизмов в экстремальных космических условиях по флуоресцентному излучению микроорганизмов, которое возникает при воздействии на них зондирующих вспышек света с помощью аппаратуры в составе группировки наноспутников МГУ «Созвездие-270».

**Ключевые слова:** космос, микроорганизмы, наноспутники.

**Abstract.** The report discusses the issues of searching for extraterrestrial microorganisms on remote space objects and studying the dynamics of the survival of terrestrial microorganisms in extreme space conditions by the fluorescent radiation from microorganisms that occurs when they are illuminating by probing light flashes on board of spacecraft as part of the nanosatellite constellation of Moscow State University Sozvezdie-270.

**Keywords:** space, microorganisms, nanosatellites.

Для поиска микроорганизмов на удаленных космических объектах из космоса с помощью микроспутников предлагается использовать свойство микроорганизмов флуоресцировать при облучении их зондирующими вспышками света.

Оценки показывают, что при мощности источника зондирующего излучения в импульсе 100 Вт и площади входного окна телескопа  $100\text{см}^2$  поиск микроорганизмов может проводиться как из космоса с орбиты спутника на площадях соизмеримых с размерами космического объекта, так и на поверхности космического объекта в районе посадки спускаемого аппарата. При этом колонии микроорганизмов могут быть обнаружены на расстоянии сотен километров от поверхности космического тела, а на расстоянии десятков метров единичные микроорганизмы

Вместе с этим флуоресцентное излучение позволяет проводить исследования динамики выживания земных микроорганизмов



непосредственно в космосе в реальном времени с помощью автоматических биологических лабораторий. В этом случае, источник зондирующего излучения также возбуждает флуоресценцию микроорганизмов, но одновременно является и источником энергии фотосинтеза, при котором происходит рост и размножение клеток в микрокапсулах лаборатории. При этом сигналы флуоресценции имеют сложную форму, зависящую от кинетики фотосинтеза и физиологического состояния микроорганизмов.

Аппаратура для поиска и изучения микроорганизмов по флуоресцентному излучению имеет малые габариты и малую мощность потребления. Методика не разрушает микроорганизмы и позволяет проводить измерения в реальном времени в космосе на борту микроспутника формата кубсат без возвращения экспонированных в космосе микроорганизмов на землю [1-5].

### **Литература**

1. Garipov G.K., Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Konyukhov I.V., Pogosyan S.I., Rubin A.B., Indicator Of Biological Activity Of Space Objects From Outer Space, The 4th COSPAR Symposium Small satellites for sustainable Science and Development. Herzliya, Israel, November 4-8., Herzliya, 2019.
2. Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Свертилов С.И., Конюхов И.В., Погосян С.И., Рубин А.Б., Андреев Д.Е., Поиск внеземных микроорганизмов на космических объектах из космоса, Космические исследования, издательство ФГБУ Издательство «Наука№ (Москва), том 58, № 4, с. 276-283 DOI, 2020.
3. Garipov G.K., Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Konyukhov I.V., Pogosyan S.I., Rubin A.B., Andreev D.E., The Study Of Terrestrial Microorganisms In Space Condition And Search For Extraterrestrial Microorganisms On Space Objects. Europlanet Science Congress, Göttingen Germany, Spain, 21 сентября - 9 октября 2020
4. Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Конюхов И.В., Погосян С.И., Рубин А.Б., Андреев Д.Е., Поиск внеземных микроорганизмов на космических объектах и изучение динамики выживания земных микроорганизмов в космических условиях по сигналам флуоресценции микроорганизмов, 3-я Всероссийская конференция по астробиологии «ЭКЗОБИОЛОГИЯ: ОТ ПРОШЛОГО К БУДУЩЕМУ» 5 - 9 октября, 2020 г. Пушино, Россия, г. Пушино, Московская область, Russia, 5-9 октября 2020
5. Гарипов Г.К., Свертилов С.И., Конюхов И.В., Погосян С.И., Рубин А.Б., Андреев Д.Е., Автоматическая биологическая лаборатория микроспутников для изучения динамики выживания микроорганизмов

в космических условиях по флуоресцентному излучению, 4-я Всероссийская конференция по Астробиологии «Геологические, биологические и биогеохимические процессы в решении астробиологических задач», Пушкино, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Russia, 27 февраля - 2 марта 2023.

УДК 520.6, 521.3

eLIBRARY.RU: 41.51.02, 41.03.02

**Богачёв С.А.**

**Bogachev S.A.**

доктор физико-математических наук  
заведующий лабораторией ИКИ РАН, г. Москва

**Кузин С.В.**

**Kuzin S.V.**

доктор физико-математических наук  
заведующий лабораторией ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск

**Кириченко А.С.**

**Kirichenko A.S.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий инженер ИКИ РАН, г. Москва

**Ерхова Н.Ф.**

**Erhova N.F.**

младший научный сотрудник ФИАН, г. Москва

**Лобода И.П.**

**Loboda I.P.**

кандидат физико-математических наук  
научный сотрудник ИКИ РАН, г. Москва

**Рева А.А.**

**Reva A.A.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник  
ИКИ РАН, г. Москва

# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ГРУППИРОВКИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КА ДЛЯ МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

## SCIENTIFIC BASIS FOR DEVELOPING A GROUP OF SMALL- SIZED SCATTERIES FOR MONITORING THE MAGNETIC FIELD IN NEAR-EARTH SPACE

**Аннотация.** Рассмотрены основные научные задачи в рамках проблемы исследования магнитосферы Земли малыми КА. Отмечено, что основные объекты исследования в магнитосфере пространственно разделены, что требует расчёта и обоснования оптимальных орбит, проходящих через все области интереса.

**Ключевые слова:** магнитосфера Земли, магнитометр, наноспутник, орбитальное построение.

**Abstract.** The main scientific tasks within the framework of the problem of studying the Earth's magnetosphere by small spacecraft are considered. It is noted that the main objects of study in the magnetosphere are spatially separated, which requires the calculation and justification of optimal orbits passing through all areas of interest.

**Keywords:** Earth's magnetosphere, magnetometer, small spacecraft, orbital configuration.

Состояние и динамика магнитного поля Земли оказывают значительное влияние на околоземное пространство, и, соответственно, на работу космических аппаратов, систем связи и навигации. Одними из основных средств мониторинга геомагнитной обстановки являются магнитометры на космических аппаратах [1]. При разработке научных программ по изучению земной магнитосферы предпочтение отдаётся группировкам из нескольких КА.

Одним из наиболее эффективных способов исследования магнитосферы являются тетраэдральные построения КА, позволяющие регистрировать электрические токи. Соответствующая концепция предложена для реализации на малых КА типа кубсат [2] с использованием малоразмерного магнитометра, ранее разработанного для программы «Универсат» [3]. Мы обсуждаем научные задачи таких систем с учётом объективных возможностей КА типа кубсат.

Магнитосфера Земли в результате взаимодействия с солнечным ветром принимает сложную несимметричную форму, обладающую значительной динамикой.

Наиболее динамичной структурой магнитного поля Земли является

хвост магнитосферы, где происходит интенсивное пересоединение магнитных силовых линий. Наиболее интересные области для исследования находятся на расстоянии около 20 радиусов Земли, что создаёт некоторые сложности для малых КА, которые обычно выводятся на более близкие околоземные орбиты. Ранее для формирования таких орбит было предложено оснащать КА двигателями малой тяги (несколько мН), позволяющими вывести КА на требуемую орбиту за время порядка года [2].

Вторым по значимости объектом для исследования является так называемая область магнитопаузы. Для данной области представляют интерес задачи измерения магнитного поля и электрических токов по обе стороны от магнитопаузы с целью определения скачка параметров. Характеристики поля и плазмы на магнитопаузе являются основными входными параметрами для современных моделей прогнозирования околоземной геомагнитной обстановки.

Третьей областью интереса являются магнитосферные каспы — области слабого открытого магнитного поля, через которые частицы солнечного ветра могут проникать в магнитосферу. Колебания поля после крупных солнечных событий могут достигать здесь 100–200 нТл. В качестве основной научной задачи предлагается мониторинг текущей структуры магнитного поля в каспах с конечной задачей прогнозирования потоков и энергий частиц, проникающих в магнитосферу.

Четвертой областью интереса является кольцевой ток вблизи плоскости земного экватора. Создаваемое этим током внешнее магнитное поле приводит к понижению поля на поверхности Земли, особенно заметное во время магнитных бурь. С этой точки зрения бури могут рассматриваться как вторичные проявления по отношению к первичным процессам, протекающим в кольцевом токе.

С учётом многоплановости задач, стоящих перед обсуждаемой многоспутниковой группировкой, существенное значение имеет вопрос выбора оптимальных орбит для малых КА. Задача расчёта таких орбит должна быть решена в максимально короткое время.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда; проект № 23-72-30002, <https://rscf.ru/project/23-72-30002/>.

### **Литература**

1. Olsen N., Hulot G., Sabaka T. J. Measuring the Earth's magnetic field from space: concepts of past, present and future missions //Space science reviews. – 2010. – Т. 155. – С. 65-93.
2. Богачёв С.А., Овчинников М.Ю., Шувалов В.А., Сулов К.С.,

Шестаков С.А. Измерение магнитных полей и электрических токов в магнитосфере Земли с использованием специальных орбитальных построений малых КА Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Часть 1. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). 2023. – 292 с. – 350 экз.

3. Богачёв С.А., Головин А.А., Дятков С.Ю., Егорочкин К.А., Кириченко А.С., Кузин С.В., Перцов А.А., Тененбаум С.М., Шаханов А.Е. Малоразмерный космический магнитометр для наноспутника «Ярило» № 3 // Космонавтика и ракетостроение. – 2023. – № 1 (130). – С. 123–134.

УДК 629.783

eLIBRARY.RU: 89.25.00

**Жданова К.А.**

**Zhdanova K.A.**

аспирант

**Щеглов Г.А.**

**Shcheglov G.A.**

доктор технических наук

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

## **ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СПУТНИКИ: ОБЗОР КОНЦЕПЦИЙ**

### **SOFTWARE-DEFINED SATELLITES: CONCEPTION REVIEW**

**Аннотация.** В работе описываются перспективы и преимущества современных программно-определяемых спутников (SMART - спутников), представлен обзор и особенности миссий. Определены требования к архитектуре современных спутников. Показано, что ключевыми факторами для программно-определяемых спутников является наличие бортовой вычислительной сети, современные подходы к созданию программного обеспечения и использование новых цифровых технологий.

**Ключевые слова:** CubeSat, программное обеспечение, бортовая вычислительная сеть, бортовое устройство, наноспутник, киберфизическая система, программно-определяемое устройство, SMART – спутник.

**Abstract.** The paper describes the prospects and advantages of modern software-defined satellites. An overview of software-defined satellite (SMART - satellite) platforms and mission features is presented. The requirements for the architecture of modern satellites have been determined. It is shown that the key factors for software-defined satellites are the presence of an on-board computer network, modern approaches to software creation and the use of new digital technologies.

**Keywords:** CubeSat, software, on-board computer network, on-board device, nanosatellite, cyber-physical system, software-defined satellite, SMART - satellite.

В докладе обсуждаются тенденции развития современных искусственных спутников, к которым относятся:

- миниатюризация;
- киберфизические принципы построения;
- увеличение вычислительной мощности бортовых систем;
- использование алгоритмов и программ управления бортовыми устройствами, основанных на современных распределенных ИТ-технологиях;
- снижение стоимости запусков.

Указанные тенденции дали начало принципиально новой архитектуре спутников, построенной на базе распределенной вычислительной сети и информационных систем. Такой подход обеспечивает высокую серийность производства и построения созвездий спутников, интегрированных в единое информационное пространство. Массовое производство спутников является актуальной задачей развития российской космической отрасли [1].

Заданным требованиям отвечают современные программно-определяемые спутники, иногда называемые SMART-спутниками, которые часто упоминаются в зарубежных работах [2]. Программно-определяемые спутники представляют собой новое поколение космических аппаратов, обладающих возможностью гибкой настройки и программирования функций бортового оборудования непосредственно на орбите (рис. 1). Это позволяет адаптировать аппараты к изменяющимся потребностям и условиям в режиме реального времени, что делает их более эффективными и универсальными в сравнении с традиционными спутниками.

Для программно-определяемых спутников характерно применение виртуализации процессов, использование цифровых двойников. Это характерно для спутниковых платформ таких компаний, как SpaceX, Planet Labs, Spire Global. Миссия аппаратов связана с предоставлением

спутниковых услуг морской, авиационной, высокоскоростной мобильной, двунаправленной IoT или широкополосной связи.

Показателен пример запуска зарубежной группировки SmartSat (CubeSat 12U) от Lockheed Martin и опыт КНР с аппаратом Tianxing-1, целью которых являлась отработка программно-перестраиваемой архитектуры спутника. Одной из важных характеристик программно-определяемых аппаратов является наличие бортовой вычислительной сети [3].

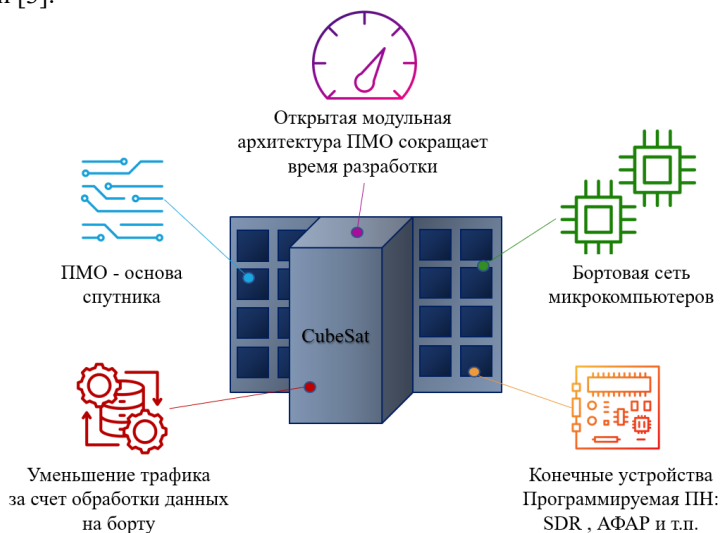


Рис. 1. Особенности современных SMART-спутников

В докладе обсуждаются вопросы построения архитектуры подобных аппаратов. Показано, что важной задачей является обеспечение централизованного управления целевыми устройствами на борту спутника. Это возможно благодаря современным программным подходам к администрированию прикладных программ, выполняемых на бортовых устройствах спутников [4].

### Литература

1. Юрий Борисов о приоритетных проектах ракетно-космической отрасли [Электронный ресурс]: <https://www.roscosmos.ru/40148/>.
2. Lockheed Martin's First Smart Satellites Are Tiny With Big Missions [Электронный ресурс]: <https://news.lockheedmartin.com/2019-03-20-Lockheed-Martins-First-Smart-Satellites-are-Tiny-with-Big-Missions>.

3. Щеглов Г.А., Жданова К.А. Бортовой вычислительный модуль для сверхмалого космического аппарата класса CubeSat // Материалы 57-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Том Часть 1. Калуга. – 2022. – С.79-82.

4. Жданова К.А., Жумаев З.С., Каменев Н.Д., Щеглов Г.А. Открытый программный комплекс для централизованного управления целевыми конечными устройствами наноспутников // XLVII Академические чтения по космонавтике 2023. Сборник тезисов, посвященный памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. – 2023. – С. 286-287.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 89.23.31

**Емельянов С.Г.**

**Emelyanov S.G.**

доктор технических наук, профессор  
ректор НИИ КП и РЭС ФГБОУ ВО ЮЗГУ, г. Курск

**Самбуров С.Н.**

**Samburov S.N.**

главный научный сотрудник  
ПАО «РККА Энергия» имени С.П. Королева», г. Королев

**Тетерин Д.П.**

**Teterin D.P.**

доктор технических наук  
главный научный сотрудник  
НИИ КП и РЭС ФГБОУ ВО ЮЗГУ

**Шиленков Е.А.**

**Shilenkov E.A.**

кандидат технических наук  
директор НИИ КП и РЭС ФГБОУ ВО ЮЗГУ

**Фролов С.Н.**

**Frolov S.N.**

кандидат технических наук  
заместитель директора  
НИИ КП и РЭС ФГБОУ ВО ЮЗГУ

**Титенко Е.А.**

**Titenko E.A.**

кандидат технических наук, доцент



ведущий научный сотрудник  
НИИ КП и РЭС ФГБОУ ВО ЮЗГУ

**Щитов А.Н.**

**Schitov A.N.**

научный сотрудник  
НИИ КП и РЭС ФГБОУ ВО ЮЗГУ

**Сазонов С.Ю.**

**Sazonov S.Yu.**

кандидат технических наук, доцент  
заведующий кафедрой ИБ  
ФГБОУ ВО ТУ имени А.А. Леонова, г. Королев

**Гуков А.В.**

**Gukov A.V.**

аспирант ФГБОУ ВО ЮЗГУ, г. Курск

## **НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ НАНОСПУТНИКОВ**

### **NEURAL NETWORK CONTROL METHOD FOR GROUP OF NANOSATELLITES**

**Аннотация.** Для децентрализованного управления сетью наноспутников создан метод на базе нейронной сети. Метод имеет 2 уровня планирования и изменения структуры сети с переменным составом. Метод позволяет динамически реконфигурировать сеть, чтобы учитывать отказы и поломки.

**Ключевые слова:** граф, реконфигурация, широковещательная рассылка, обмен сообщениями.

**Abstract.** Based on a neural network, a method was created for decentralized control of a group of nanosatellites. The method has 2 levels of planning and changing the network structure with variable composition. The method allows you to dynamically reconfigure the network to take into account failures and breakdowns.

**Keywords:** graph, reconfiguration, broadcasting, exchange of information messages.

#### **Актуальность**

Перспективным направлением развития малой космонавтики является создание интеллектуальных российских низкоорбитальных группировок, способных коллективно выполнять различные задачи.

Повышение эффективности эксплуатации МКА связывается с разработкой теоретических методов и аппаратно-программных средств

объединения аппаратов в группировки (сети) и скоординированного (управляемого) решения прикладных, исследовательских и ряда фундаментальных задач силами нескольких аппаратов [1]. Основная проблема заключается в отсутствии методов и средств децентрализованного управления сетью МКА.

### Постановка задачи

Информационно-технической основой создания группировки взаимодействующих аппаратов (сети МКА) является самоорганизующаяся mesh-сеть, которая упорядочивает процессы динамической реконфигурации за счет программно-управляемого поддержания распределённой информационной структуры о соединениях между элементами сети и реализуемых широковещательных рассылок оповещений (служебных «маяков»), позволяющих получить, актуализировать информацию о соединениях между МКА и вести реконфигурацию в фоновом режиме.

### Метод решения

Для планирования связности сети реализуются оценка и прогнозирование каналов связи между парами аппаратов на основе нейронной сети (НС). Наиболее подходящей архитектурой НС является сеть Transformer, основанная на механизме внутреннего внимания и имитирующая когнитивную способность человека фокусироваться на определенных особенностях входных данных для принятия решения (рисунок 1). Transformer.

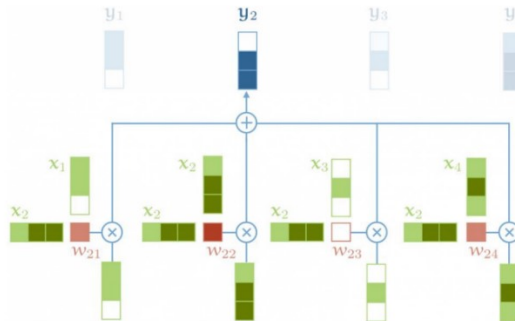


Рис. 1 – Нейронная сеть Transformer

Информационно каждый МКА в составе сети описывается как [2]:

- орбитальные параметры (координаты);
- вектор состояния подсистем;
- матрица прямой видимости, каждый элемент которой сигнализирует о наличии прямой видимости между парой МКА;

– матрица фактического качества связи, а каждый элемент описывает эффективность (длительность) передачи сообщений между парами аппаратов.

### **Результаты и обсуждение**

Метод управления состоит из 2-х уровней:

- уровень алгоритмической оценки текущего состояния сети МКА;
- уровень динамической реконфигурации сети МКА.

Первый уровень использует матрицу прямой видимости, каждый элемент которой сигнализирует о наличии прямой видимости между соответствующей парой МКА. Второй уровень использует НС для выдачи рекомендаций по исключению «проблемного» МКА.

Применение нейросетевых методов позволило повысить связность сети МКА на 12-15% в сравнении с методом централизованного управления за счет раннего исключения «проблемного» МКА из нее.

### **Выводы**

Создан нейросетевой метод управления группировкой наноспутников с переменным составом. Метод использует дополнительную информацию о потенциальной связности вершин в графе МКА, что позволяет упреждающе исключать аппараты до их фактического выхода из строя и обеспечивает динамическую реконфигурацию и перестройку маршрутов в сети МКА.

### **Литература**

1. Адаптивный принцип управления группировкой малых космических аппаратов / С.Г. Емельянов, С.Н. Самбуров, О.Г. Артемьев [и др.] // Идеи К.Э. Циолковского в теориях освоения космоса: Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга: ИП Стрельцов И.А., 2023. – С. 295-298.
2. Автономная интеллектуальная группировка малых космических аппаратов - космический эксперимент «Радиоскаф-5» / О.И. Атакищев, Е.А. Шиленков, С.Н. Фролов [и др.] // Известия Института инженерной физики. – 2020. – № 1(55). – С. 42-48.

УДК 621.7

eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Клюшников В.Ю.**

**Klyushnikov V.Yu.**

доктор технических наук  
главный ученый секретарь  
АО «ЦНИИмаш», г. Королев

# СИНТЕЗ ОПТИЧЕСКОЙ АПЕРТУРЫ В КЛАСТЕРЕ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

## OPTICAL APERTURE SYNTHESIS IN A CLUSTER OF SMALL EARTH OBSERVATION SATELLITES

**Аннотация.** Одним из перспективных направлений улучшения пространственного разрешения кластера малых космических аппаратов (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) может быть синтез оптических апертур нескольких МКА. В этом случае открывается возможность, не выходя за габариты отдельно взятого МКА, получить изображения земной поверхности с пространственным разрешением, соответствующим одной большой сплошной апертуре.

**Ключевые слова:** малый космический аппарат дистанционного зондирования Земли, оптическая апертура, кластер малых космических аппаратов, синтез оптической апертуры.

**Abstract.** One of the promising directions for improving the spatial resolution of a cluster of small observation satellites may be the synthesis of optical apertures of several satellites. In this case, it becomes possible to obtain an image of the earth's surface with a spatial resolution corresponding to one large continuous aperture. The size of the continuous aperture may significantly exceed the dimensions of the small satellite.

**Keywords:** small earth observation satellite, optical aperture, small satellite cluster, optical aperture synthesis.

Основным фактором, ограничивающим предельное пространственное разрешение оптической аппаратуры малых космических аппаратов (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), является дифракция излучения, приходящего от подстилающей земной поверхности, на входную апертуру аппаратуры оптического наблюдения. Это ограничение получило название дифракционного предела.

Пространственную разрешающую  $r$  способность можно приблизительно оценить как:

$$r \sim \frac{\lambda}{D} h$$

где  $\lambda$  - длина волны излучения Солнца, отраженного от земной поверхности, принимаемого оптической системой МКА;

$D$  – диаметр апертуры объектива;

$h$  – высота орбиты МКА.

По причине того, что МКА ДЗЗ имеет малые габариты, размер апертуры (диаметр объектива оптической съемочной системы  $D$ ) ограничен. Уменьшать высоту орбиты можно примерно до 500–600 км. В противном случае на МКА будет оказывать тормозящее воздействие остаточная атмосфера. Минимальная длина волны солнечного излучения в видимом диапазоне электромагнитного спектра составляет величину  $\sim 380$  нм, что соответствует фиолетовому цвету.

Одним из перспективных направлений улучшения пространственного разрешения кластера МКА ДЗЗ может быть синтез оптических апертур нескольких МКА.

Под апертурным синтезом в оптике понимают построение эквивалента оптической системы со сплошной апертурой, состоящего из совокупности элементов с меньшей апертурой (субапертур) и позволяющего получить то же разрешение, что и система с большей сплошной апертурой.

Апертурный синтез изображений в радиодиапазоне давно известен в радиоастрономии [1]: обработка сигналов с выходов малых антенн с различными взаимными фазовыми отношениями приводит к получению информации, эквивалентной той информации, которая может быть получена при использовании сплошной апертуры, значительно превосходящей апертуры отдельных антенн. Основы метода апертурного синтеза в радиоастрономии были заложены Мартином Райлом.

В [2] указаны пути синтеза оптической апертуры из совокупности малых разреженных апертур. Именно этот случай соответствует идее синтеза субапертур кластера МКА ДЗЗ для получения изображения с повышенным пространственным разрешением, соответствующим разрешению оптической системы с одной большой апертурой.

Теоретически можно рассматривать два возможных пути синтеза оптической апертуры в кластере МКА:

– одновременная регистрация изображения с использованием всех субапертур при фиксированном положении МКА в пространстве («пространственный синтез»);

– последовательная регистрация совокупности изображений через набор субапертур с изменением пространственной конфигурации кластера МКА между экспозициями («временной синтез»).

Реализация идеи синтеза оптической апертуры в кластере МКА предполагает, во-первых, наличие быстрой межспутниковой связи в кластере, во-вторых, построение распределенной вычислительной

системы на орбите из бортовых компьютеров отдельных МКА, а в третьих – обработку информации на борту МКА.

Синтеза оптической апертуры существенно расширит целевые возможности кластера МКА ДЗЗ и позволит существенно снизить стоимость получения дистанционной информации.

### **Литература**

1. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н., Радиотелескоп и радиометры, М., «Наука», 1973 – 416 с.
2. Синцов В. И., Запрягаев А. Ф. Апертурный синтез в оптике // Успехи физических наук, том 114, вып. 4, декабрь 1974, - С. 655-676.

УДК: 629.78

eLIBRARY: 89.17.15

**Овчинников М.Ю.**

**Ovchinnikov M.Yu.**

**Глазунова И.А.**

**Glazunova I.A.**

**Перепухов Д.Г.**

**Perepukhov D.G.**

**Трофимов С.П.**

**Trofimov S.P.**

**Целоусова А.А.**

**Tselousova A.A.**

**Широбоков М.Г.**

**Shirobokov M.G.**

Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН

## **ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МИССИЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ЛУНЕ**

### **POSSIBLE SCENARIOS OF DOMESTIC MISSIONS SMALL SPACECRAFT TO THE MOON**

**Аннотация.** Рассматриваются возможные сценарии перспективных российских миссий к Луне на базе космических аппаратов микрокласса. Представлены основные баллистические схемы таких миссий и указаны требования к запасу характеристической скорости у средства выведения аппарата на отлётную траекторию и собственного маршевого двигателя. Обсуждается проблема выбора рабочей орбиты

в зависимости от целей миссии. Предложена стратегия экономичного развёртывания созвездий микроспутников вокруг Луны.

**Ключевые слова:** лунная миссия, низкоэнергетическая траектория, малый космический аппарат, микроспутник, спутниковая группировка, созвездие спутников, электрореактивная двигательная установка.

**Abstract.** Possible scenarios of near-future Russian lunar missions based on microspacecraft are considered. Major lunar transfer options are presented and  $\Delta V$  requirements for a launch vehicle and the onboard propulsion system are given. The problem of choosing the nominal lunar orbit(s) to meet various mission objectives is discussed. An efficient approach to the problem of lunar microspacecraft constellation deployment is proposed.

**Keywords:** lunar mission, low-energy trajectory, small spacecraft, micro-satellite, distributed satellite group, satellite constellation, electric propulsion.

Лунные миссии малых космических аппаратов (МКА), и в частности кубсатов и аппаратов микрокласса, находятся на стыке двух тенденций: значительного роста количества проектов по исследованию и освоению Луны и окололунного пространства, а также постепенного выхода МКА за пределы околоземных орбит. Из 19 МКА (масса – до 500 кг), которые когда-либо были выведены с разной степенью успеха в дальний космос, запуски 14 аппаратов состоялись в последние два года, причём сразу 10 кубсатов отправились попутно с лунной миссией Artemis I.

Существует две возможных схемы перелёта к Луне малого аппарата, не обладающего большим ресурсом управления. Первая схема – прямой перелёт в рамках основной лунной миссии, как в случае Artemis I. Прямая схема перелёта была выбрана, к примеру, для попутных с Artemis I миссий EQUULEUS и Lunar IceCube. Сложная траектория EQUULEUS изображена на рис. 1 во вращающейся геоцентрической системе координат Земля–Солнце.

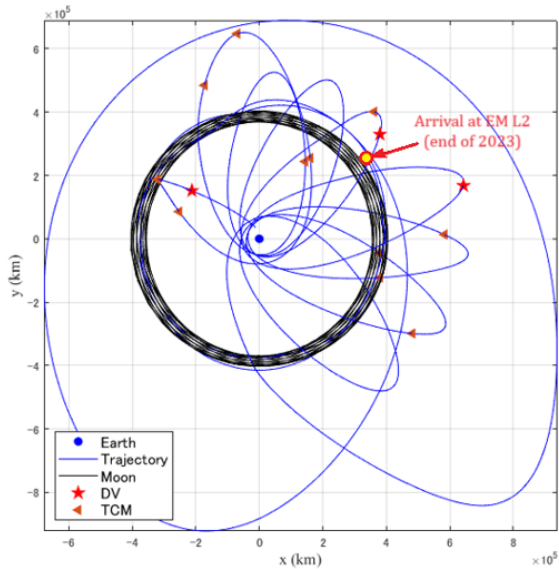


Рис. 1. Траектория аппарата EQUULEUS [1]

Вторая схема перелёта МКА к Луне – по обходной траектории, когда аппарат вначале удаляется на значительное расстояние, где гравитацией Солнца поднимается перигей геоцентрической орбиты до орбиты Луны. Как и в случае прямой схемы, бюджет характеристической скорости самого МКА при перелёте по обходной траектории часто закладывается скромным: выход на высокоэллиптическую окололунную орбиту может стоить менее 100 м/с. Скажем, в примере обходной траектории перелёта на почти прямолинейную L2 гало-орбиту, номинальную орбиту проекта Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G) (см. рис. 2), понадобится только 77 м/с. Если МКА требуется достичь более низкой окололунной орбиты, то наиболее экономичным решением будет установить на борт аппарата электрореактивный двигатель с высоким удельным импульсом.



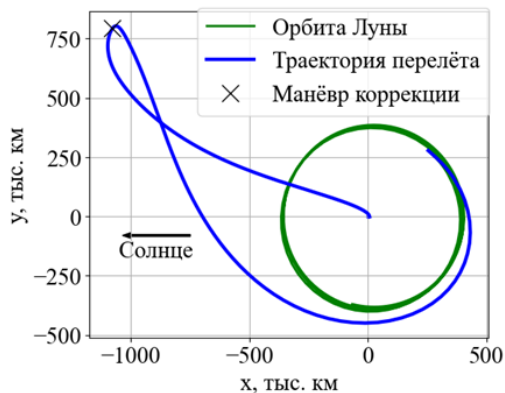


Рис. 2. Пример обходной траектории перелёта

Чувствительность обходных траекторий можно использовать, чтобы обеспечить выведение многоплоскостных созвездий лунных спутников в рамках одного запуска: совсем небольшими импульсами в специально подобранных точках обходной траектории блоки МКА отделяются друг от друга и захватываются Луной в разные орбитальные плоскости [2].

Работа финансово поддержана грантом Российского научного фонда (РНФ) 24-11-00038.

### Литература

1. Ryu Funase, Shintaro Nakajima, Yosuke Kawabata, Ryota Fuse, Hokuto Sekine, and Hiroyuki Koizumi. EQUULEUS: Initial Operation Results of an Artemis-1 CubeSat to the Earth–Moon Lagrange Point // Proceedings of the 37th Annual Conference on Small Satellites, Logan, UT, August 5–10, 2023, Session 7: Year in Review – Research & Academia, Paper SSC23-WVII-03, <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2023/all2023/52/>.
2. Irina Glazunova, Sergey Trofimov, and Anastasia Tselousova. Single-Launch Deployment of Lunar Constellations from a Sun-Assisted Lunar Transfer Trajectory // Proceedings of the 74th International Astronautical Congress, Baku, Azerbaijan, October 2–6, 2023, Paper IAC-23.C1.LBA.5

УДК 629.7800.14  
eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Лизунов С.А.**

**Lizunov S.A.**

кандидат технических наук, директор проекта

**Маслов А.И.**

**Maslov A.I.**

доктор технических наук

заместитель руководителя службы качества

**Шишурин А.В.**

**Shishurin A.V.**

кандидат технических наук

заместитель начальника отдела

**Лизунов А.А.**

**Lizunov A.A.**

кандидат технических наук

ведущий научный сотрудник

**Чуркин А.А.**

**Churkin A.A.**

главный специалист

АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов

**Лизунова А.С.**

**Lizunova A.S.**

студентка

МИСиС, г. Москва

**ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКИЛОВАТТНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ  
МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ  
АО «ВПК «НПО МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

**HISTORY APPELICATION OF MULTIKILOWATT POWER  
SUPPLY SYSTEMS (PSS) FOR LEO SPACECRAFT DEVELOPED  
BY JSC MIC NPO MASHINOSTROYENIA**

**Аннотация.** приведено поэтапное описание создания систем электропитания (СЭП) для космических аппаратов (КА), работающих на различных физических принципах, показана эффективность использования на низких орбитах солнечных батарей и приведено краткое описание тенденций развития энергетических систем и

проблемы при создании малых (МКП) и сверхмалых (СКП) космических платформ.

**Ключевые слова:** система электропитания, электрохимический генератор, солнечные батареи, топливные элементы, ядерная энергетическая установка.

**Abstract.** The article gives description of phase-by-phase designing of electrical power supply systems (PSS) for spacecraft (SC) operating on various physical principles. It proves that usage of solar panels with photovoltaic cells at LEO is efficient and gives brief description of power systems development trends, as well as problems of designing small and super small space platforms.

**Keywords:** electrical power system, electrochemical generator, solar panels, fuel cells, nuclear power system.

Первый этап работы с энергетическими установками (ЭУ) (1958 гг.) связан с использованием в составе КА ядерных энергетических установок (ЯЭУ) разработки НПП «Красная звезда» несмотря на передачу этих изделий в другие КБ, вплоть до 1987 года АО «ВПК «НПО машиностроения» постоянно привлекалось к работе по ЯЭУ [7].

Разработана система автоматического регулирования «Селен» установки «Бук-5М».

Всего запущено 33 объекта электрической мощности  $3\div 5$  кВт с удельной мощностью  $P_{уд}=100$  Вт/час/кг и ресурсом менее 1 года (характеристики ЯЭУ приведены в работе [1]).

Вторым типом многокиловаттных ЭУ был водородно-кислородный электрохимический генератор (ЭХГ) на топливных элементах (ТЭ). Эта ЭУ мощностью  $1,5\div 2,5$  кВт при ресурсе  $\sim 15$  дней предназначалась для изучения Луны с экипажем на борту. Её удельная характеристика по мощности  $P_{уд}\sim 600$  Вт/час/кг, что в 6 раз выше, чем у лучших образцов серебряно-цинковых аккумуляторов [8].

Топливная батарея разрабатывалась специализированными организациями (ВНИИТ, НИИХИТ), вспомогательные системы, системы контроля и управления преобразования токов и напряжений, а также система подачи топлива и отвода воды разрабатывались в АО «ВПК «НПО машиностроения» [6].

Наиболее плодотворной была работа в области солнечных фотоэлектрических систем электропитания (СЭП). Первая СЭП была разработана для изделия «Протон» в 1965 году. Её особенность – неориентируемая двухсторонняя солнечная батарея (СБ). Фотоэлементы монтировались на сетке, впервые используемой в качестве подложки.

Полет КА «Протон» показал эффективность использования двухсторонних батарей, тыльная поверхность освещается отраженным от Земли солнечным потоком «альбеда», что повышает КПД ФЭП, установленных на БС КА на  $15 \div 20 \%$ , а СЭП  $\sim 10 \div 15 \%$  (характеристики СЭП представлены в работах [2, 3] и [5]).

В 1978 году на КП «Алмаз» по две панели на каждом крыле СБ оснащены двухсторонними ФЭП, и только уже в 2003 году АО «ВПК «НПО машиностроения» используют полностью оснащенные двухсторонними ФЭП солнечные батареи на МКА «Кондор».

5. Разработка каркасов СБ большой площади, систем раскрытия и ориентации, является новым особым разделом проектирования и наземной отработки КА. Перечень работ, с которыми сталкиваются разработчики КА при создании СБ приведен в работе [4].

На основе результатов проектирования многокиловаттных СЭП и проведенного анализа возможности перехода к созданию СЭП (СКП) в пределах объявленного лимита массы, габаритов, заданной мощности энергопотребления и ориентации СКП и МКП в полете приобретен неоценимый опыт, позволивший обеспечить высокое качество и надежность разрабатываемых (МКП) и (СКП) с использованием принципа модульного проектирования и параллельной инженерии (КА «Бауманец», КА «Кондор» и др.)

### **Литература**

1. Макшанцев А.П. Космический эксперимент с термоэмиссионной ЯЭУ «Топаз-1». // Новости космонавтики № 6 (1971), 1999 г. С.50-51.
2. Заявлин В.Р., Каган М.Б., Лизунов А.А., Летин В.А. Солнечные батареи с двухсторонней чувствительностью. // Гелиотехника, № 4, 1994, С. 20-26.
3. Летин В.А., Заявлин В.Р. Конструкция солнечных батарей с двухсторонней чувствительностью. // Гелиотехника, № 4, 1994, С. 26-32.
4. Заявлин В.Р. Солнечные батареи космических аппаратов (математическое и физическое моделирование механизмов). // Гелиотехника, № 6, 1999, С. 10-17.
5. Лизунов А.А., Заявлин В.Р. Многокиловаттные энергетические установки низкоорбитальных КА АО «ВПК «НПО машиностроения» // Академические чтения по космонавтике, Москва, 1997 г. С. 72-76;
6. Лизунов А.А., Еременко В.Г. Проблемы повышения энергетической эффективности и безопасности СЭП космического аппарата с батареей солнечной и ядерной энергоустановкой в качестве первичного источника электроэнергии (исследование и разработка ключевых

элементов АРК СЭП) // XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, Москва, (28-31 января) 2020, С. 652-653.

7. Лизунов С.А., Журавлев Р.И., Лизунов А.А. Система электроснабжения МС «Чибис», научные и методологические принципы организации производства, опыт эксплуатации и рекомендации на будущие МС // 5-ый Симпозиум «Современные проблемы создания малых космических аппаратов и их использования для решения социально-экономических и научных задач» в рамках 56-х Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, (21-23 сентября) 2021, С. 61-64

8. Лизунов С.А., Маслов А.И., Лизунов А.А. Концепция построения и организации производства электрохимического генератора (ЭХГ) тока космической энергоустановки, предназначенного специально для применения на челночном транспортном корабле // XLVIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, Москва, (23-26 января) 2024, С. 132-138.

УДК: 621.311

eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Гуртов А.С.**

**Gurtov A.S.**

ведущий специалист

**Данов Е.А.**

**Danov E.A.**

ведущий инженер-конструктор

отдела проектирования систем энергоснабжения

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара

**Шнейдмиллер В.Р.**

**Schneidmiller V.R.**

аспирант

СНИУ им. С.П. Королева, г. Самара

# АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

## AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR SMALL SPACECRAFT OF MASS PRODUCTION

**Аннотация.** Предложен вариант полностью автономной, простой, модульной, унифицированной системы электропитания для малых космических аппаратов. Подобная система электропитания при серийном производстве позволит дополнительно снизить стоимость малых космических аппаратов.

**Ключевые слова:** Система электропитания, малый космический аппарат, серийное изготовление малых космических аппаратов.

**Abstract.** A variant of a fully autonomous, simple, modular, unified power supply system for small spacecraft is proposed. Such a power supply system in mass production will further reduce the cost of small spacecraft.

**Keywords:** Power supply system, small spacecraft, serial production of small spacecraft.

В современных реалиях значение малых космических аппаратов (далее – МКА) на околоземной орбите трудно переоценить. Их функционал с каждым годом расширяется и пополняется новыми возможностями, которые можно, в отличие от больших КА, реализовать за счет многоспутниковых группировок. В следствие этого возникают и проблемы, среди главенствующих и самых важных проблем – стоимость изготовления составных частей и МКА в целом.

Одним из основных решений (по крайней мере уменьшающим значимость этой проблемы), является способ, который заключается в серийном производстве космических аппаратов [1]. Спускаясь на ступень ниже в иерархии построения МКА, отслеживается такая же ситуация – при уменьшении стоимости составной части, уменьшается стоимость МКА.

Система электропитания (СЭП) занимает одну из ключевых ролей в МКА и составляет в среднем 10 - 15% от всего МКА как по массе, так и по стоимости. При традиционном подходе для увеличения надежности СЭП используют большое количество датчиковой аппаратуры, дополнительных элементов, с помощью которых можно менять режимы СЭП, перестраивать её работу под определенные штатные и нештатные ситуации [2] и высокую степень резервирования, что резко увеличивает стоимость и массогабаритные характеристики СЭП.

При изготовлении серийных МКА предлагается использовать СЭП, которая должна сочетать в своём облике простоту, минимум дополнительных элементов и датчиков, отсутствие команд воздействия на СЭП, отсутствие телеметрических параметров.

Структурная схема предложенной СЭП и условный алгоритм её работы изображены на рисунках 1 и 2 соответственно.

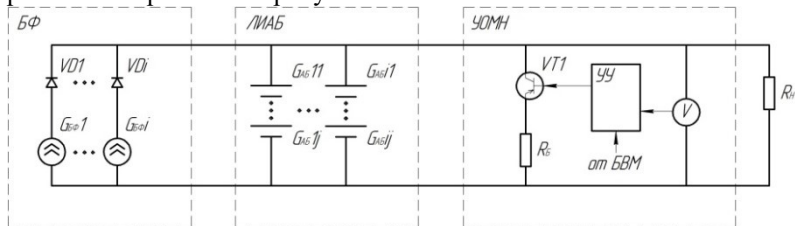
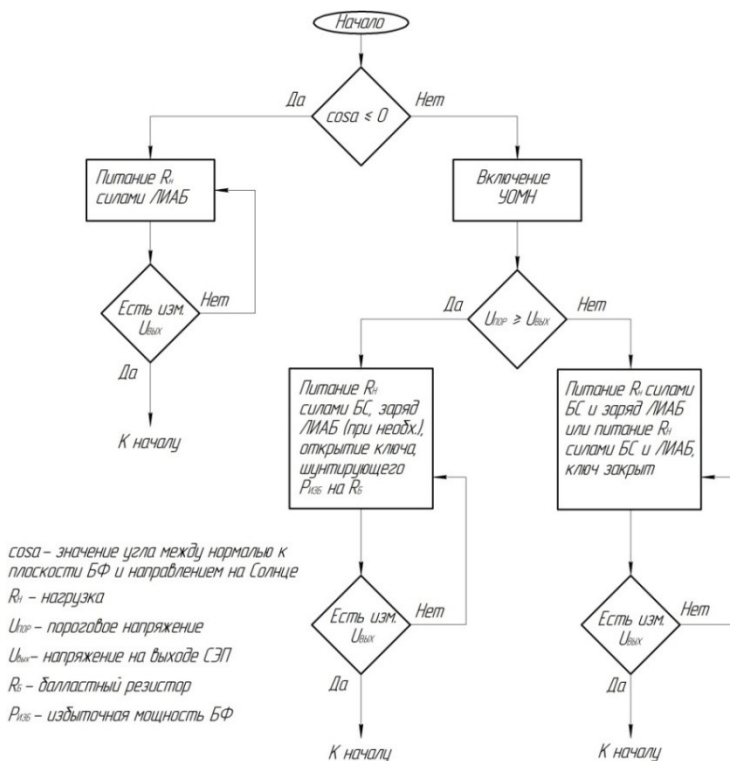


Рис. 1. Структурная схема СЭП



*cosa* – значение угла между нормалью к плоскости БФ и направлением на Солнце  
*R<sub>n</sub>* – нагрузка  
*U<sub>уп</sub>* – пороговое напряжение  
*U<sub>вых</sub>* – напряжение на выходе СЭП  
*R<sub>0</sub>* – балластный резистор  
*R<sub>ис</sub>* – избыточная мощность БФ

Рис. 2. Алгоритм работы СЭП

Основной особенностью является отсутствие собственного блока управления СЭП, как дополнительного узла СЭП. Практически все задачи, которые выполняет блок автоматики в классической СЭП - снимаются, остается лишь минимально необходимое количество датчиков: датчики температуры посадочного места литий-ионной аккумуляторной батареи (далее – ЛИАБ), которые опрашиваются бортовой вычислительной машиной (далее - БВМ), датчик напряжения в составе устройства ограничения максимального напряжения (далее – УОМН).

В предложенном варианте автономной СЭП необходимый диапазон выходного напряжения обеспечивается за счёт параллельного подключения ЛИАБ к нагрузке и батарее фотоэлектрической (далее БФ). При наличии освещенности на панелях БФ генерируемая энергия питает нагрузку, излишками энергии заряжается ЛИАБ, при этом диапазон выходного напряжения СЭП обеспечивается за счет согласования параметров БФ и ЛИАБ. По мере заряда ЛИАБ напряжение на шинах СЭП увеличивается и начинает работать УОМН, задачей которого является поддержание режима работы БФ на нисходящей ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ). УОМН включается и выключается по сигналу из БВМ. При превышении напряжения на выходе СЭП предельно допустимого напряжения УОМН шунтирует избыток мощности БФ на параллельно подключенный балластный резистор [3-4]. С целью увеличения надёжности МКА в целом целесообразно в УОМН предусмотреть резервный транзистор VT, работающий в «холодном» резерве.

Экономическая выгода достигается также за счёт модульности элементов СЭП. В качестве элементов ЛИАБ целесообразно использовать литий-ионные аккумуляторы. БФ собирается из унифицированных генераторов, из которых изготавливаются унифицированные секции (створки, панели) БФ, что вкуче позволяет максимально гибко менять характеристики СЭП в целом под требования любой целевой или научной аппаратуры.

### **Литература**

1. Гуртов А.С., Данов Е.А., Шнейдмиллер В.Р., Система электропитания с использованием модулей и технологии система на кристалле // Материалы научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», 2023 г.



2. Гуртов А.С., Данов Е.А., Шнейдмиллер В.Р., Способы повышения живучести систем электропитания космических аппаратов дистанционного зондирования земли // Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники», 2021 г., с. 84-86

3. Система электроснабжения космического аппарата: Патент 2778262 (Россия), Заявка № 2021130260 от 18.10.2021 г.

4. Система электроснабжения космического аппарата: Патент 211054 (Россия), Заявка № 2021130261 от 18.10.2021 г.

УДК 629.78: 621.311.6  
eLIBRARY.RU: 89.25.21

**Никифоров В.Е.**  
**Nikiforov V.E.**

кандидат технических наук  
старший научный сотрудник  
ИЗМИРАН, г. Троицк

## **ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

## **GENERALIZED CRITERION FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF SPACECRAFTS POWER SUPPLY SYSTEMS**

**Аннотация.** Представлен обобщенный критерий оценки эффективности систем электроснабжения космических аппаратов в виде эквивалентной стоимости системы, отражающий влияние отклонений параметров системы от ее базовых значений на параметры функционально связанных с ней других бортовых систем, что соответствует сумме присоединенных стоимостей. Эквивалентная масса и эквивалентная стоимость единицы энергии являются развитием этого обобщенного критерия.

**Ключевые слова:** критерий эффективности, эквивалентная стоимость, система электроснабжения, космический аппарат, структура, бортовая система, параметры систем.

**Abstract.** A generalized criterion for assessing the efficiency of spacecraft power supply systems is presented in the form of the equivalent cost of the system, reflecting the influence of deviations of the system parameters from its basic values on the parameters of other onboard systems

functionally associated with it, which corresponds to the sum of the associated costs. Equivalent mass and equivalent cost per unit of energy are an development of this generalized criterion.

**Keywords:** efficiency criterion, equivalent cost, power supply system, spacecraft, structure, on-board system, system parameters.

Оценка эффективности технических решений, применяемых в процессе создания систем и изделий космической техники, является актуальной задачей для космических аппаратов (КА) различных типов и назначений и применяется на всех этапах их жизненного цикла [1]. Одной из важнейших оценок эффективности является уровень финансовых затрат, что особенно актуально при серийном производстве КА. Очевидно, величина затрат на единственный КА  $C_{КА}$  складывается из затрат на бортовые системы КА  $C_{БС}$ . Но минимизация затрат на единственный КА не сводится к минимизации затрат на его отдельные бортовые системы, т.к. все бортовые системы взаимосвязаны функционально, конструктивно, алгоритмически, а также в стоимостном отношении. Реально затраты практически на любую бортовую систему КА оказывают влияние на ее параметры, которые, в свою очередь, влияют на параметры других систем, в том числе на их стоимость.

Достаточно эффективным критерием при проектировании бортовых систем КА служит обобщенный критерий эффективности в виде *эквивалентной стоимости* бортовой системы. Под эквивалентной стоимостью системы электроснабжения (СЭС)  $C_{СЭС экв.}$  понимается собственная стоимость системы электроснабжения  $C_{СЭС0}$  плюс сумма дополнительных стоимостей других, связанных функционально с СЭС, бортовых систем (т.н. *присоединенная стоимость*), обусловленная влиянием отклонений параметров СЭС от некоторого базового значения:

$$C_{СЭС экв.} = C_{СЭС0} + \sum_{i=1}^n \Delta C_{i0(ko)}, \quad \forall i \in n,$$

где:  $\Delta C_{i0}$  – присоединенная стоимость  $i$ -ой бортовой системы (системы ориентации и стабилизации, системы обеспечения теплового режима, системы производства и распределения электроэнергии между потребителями, и т.д.),  $k$  стоимости «собственно» СЭС,

$ko = \{ko1, ko2, ko3, \dots\}$  – совокупность параметров СЭС (масса, объем, собственное энергопотребление, вероятность безотказной работы, тепловыделение, стоимость и т.д.).

Частным случаем применения критерия эквивалентной стоимости

СЭС является критерий *эквивалентной массы СЭС*, отличающийся меньшей размерностью уравнений. По сравнению с традиционным «массовым» критерием, данный критерий является более объективным при оценке технических решений.

Органическим развитием изложенного подхода, учитывающим эксплуатационные затраты и издержки, имеющие место в процессе срока активного существования КА, а также вопросы деградации и старения их составных частей и элементов СЭС, является использование критерия эффективности в виде *эквивалентной стоимости единицы энергии* (эквивалентной стоимости 1 кВт·час), выработанной бортовой системой электроснабжения за весь срок эксплуатации. Данный критерий, в частности, позволяет оценить эффективность вариантов применения того или иного типа генератора электроэнергии (кремниевые, арсенид-галлиевые фотоэлектрические батареи, термоэлектрические преобразователи, и пр.), а также типов, номенклатуры и состава аккумуляторных батарей с учетом их реальных ресурсных и эксплуатационных характеристик для данного типа КА.

Обобщенный критерий эффективности бортовых систем КА в виде эквивалентной стоимости и его варианты могут быть использованы на всех этапах жизненного цикла изделий, начиная с начальных этапов создания КА, систем, элементов и отдельных его подсистем и узлов, и заканчивая модернизацией объектов и их составных частей.

### **Литература**

1. Никифоров В.Е. Оценка эффективности технических решений при создании изделий космической техники //Тр. II Международной конференции – выставки «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в XXI веке». - 2000.

**Секция 1**  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА**  
**К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО И ИСТОРИЯ РАКЕТНО-**  
**КОСМИЧЕСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ»**

УДК 93/94  
eLIBRARY.RU: 03.23.00

**Хорунжий А.В.**  
**Khorunzhiy A.V.**

кандидат исторических наук  
доцент кафедры истории России  
РУДН, г. Москва

**Огарков В.В.**  
**Ogarkov V.V.**

магистр истории  
Мемориальный музей космонавтики, г. Москва

**ТРАДИЦИИ РОССИЙСКОЙ ИНТЕЛЛИГЕНЦИИ**  
**И «ФЕНОМЕН СОВЕТСКОГО ИНЖЕНЕРА»:**  
**К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ**

**TRADITIONS OF THE RUSSIAN INTELLIGENTSIA AND THE**  
**«PHENOMENON OF THE SOVIET ENGINEER»: TOWARDS**  
**A PROBLEM STATEMENT**

**Аннотация.** В статье рассмотрены понятия «российская интеллигенция» и «феномен советского инженера», определены условия формирования их ценностных установок, выделены общие и особенные черты, отличавшие ученых и инженеров России и СССР.

**Ключевые слова:** Константин Циолковский, В.Е. Бугров, интеллигенция, советский инженер, маргинальное сознание, форсированная модернизация, идея долга перед народом, светлое будущее человечества, «НИИшная культура».

**Abstract:** The article examines the concepts of "Russian intelligentsia" and "the phenomenon of the Soviet engineer", defines the conditions for the formation of their value systems, highlights the common and specific features that distinguished scientists and engineers of Russia and the USSR. Keywords: Konstantin Tsiolkovsky, V.E. Bugrov, intelligentsia, Soviet engineer, marginal consciousness, the idea of duty to the people, the bright future of humanity, research institute culture.

**Keywords:** Konstantin Tsiolkovsky, V.E. Bugrov, intelligentsia, Soviet engineer, marginal consciousness, forced modernization, the idea of duty to the people, a bright future for humanity, research institute culture.

Актуальность рассмотрения данной темы в рамках Секции «Исследование научного творчества К.Э. Циолковского и история ракетно-космической науки и техники» определяется сразу несколькими аспектами. Это и неопределимый вклад советских инженеров в успехи Советского Союза в освоении космоса, ставших важнейшей вехой в истории ракетно-космической науки и техники. Это и во многом повлиявшие на становление будущих ученых и инженеров СССР – научное наследие и жизненный пример К.Э. Циолковского и многих его современников – ярких представителей российской интеллигенции в классическом понимании этого термина. Историческое познание, как подчеркивал Р.Дж. Коллингвуд, «...не является ни познанием прошлого, исключаяющим познание настоящего, ни знанием настоящего, исключаяющим знание прошлого; оно – знание прошлого в настоящем, самопознание историком собственного духа, оживляющего и вновь переживающего опыт прошлого в настоящем» [1, с. 167]. С этой точки зрения изучение преемственности традиций российской интеллигенции, ее влияния на поколения ученых и инженеров СССР середины – второй трети XX в. является важным и актуальным как для обоих направлений работы Секции, так и в целом для очередного этапа переосмысления отечественной истории, опыта самопознания и поиска самоидентификации, которые характеризуют каждый переломный этап в истории любого общества.

Существует множество определений понятия «российская интеллигенция», зачастую противоречащих друг другу. В данной публикации авторы исходят из определения, данного Г.П. Федотовым, как наиболее соответствующего цели и задачам исследования: «...группа, движение и традиция, объединяемые идейностью своих задач и беспочвенностью (т.е. оторванностью от культурных традиций страны - А.Х.) своих идей»[2, с. 403].

Получившие образование в рамках европейской науки и картины мира, представители интеллигенции проникались характерным для XIX в. «прометеевским восторгом перед техникой», «восторженным сознанием огромных, никогда ранее не существовавших возможностей во всех сферах человеческого бытия» [3, с. 131, 114] и надеждой на скорейшее воплощение на Земле царства Справедливости, которое виделось как реализация демократического общества европейского

образца с широким применением последних достижений науки и техники [подробнее см. 4; 5]. Выходцы из различных социальных страт традиционного (аграрного) общества, они таким образом невольно становились проводниками идей и взглядов индустриального общества западноевропейского образца, попадая в положение высокообразованных маргиналов.

Маргинальное сознание интеллигенции, оказывавшейся на стыке двух культурных традиций - византийско-православной и собственно европейской – приводило к поиску путей совмещения этих традиций, обоснованию особой роли интеллигенции, выработке представлений о ее долге перед народом и этических императивов служения и самопожертвования во имя народного блага. «Каждое удобство жизни, каким я пользуюсь, каждая мысль, которую и имею досуг приобрести или выработать, куплены кровью, страданием или трудом миллионов. Прошедшее я исправить не могу... Я снимаю с себя ответственность за кровавую цену своего развития, если употребляю это самое развитие на то, чтобы уменьшить зло в настоящем и будущем», - формулировал эти императивы П.Л. Лавров [6, с. 34].

Идея служения народу особенно характерна для того поколения разночинной интеллигенции (к которой принадлежал и Циолковский), чье идейное становление пришлось на 60-70е гг. XIX в. Как отмечал П.Т. Белов, поиски форм такого служения вылились «...в форму различных непосредственно политических течений и групп - народнических или полународнических... первых рабочих кружков, социал-демократических организаций... Другая часть русской демократии двинулась в ...культуру, в том числе в науку, главным образом в естествознание, рассматривая эту сферу деятельности в условиях того времени как одно из действенных средств служения нуждам народа» [7, с. 24-25]. То есть, они посвящали себя или решению вопросов собственно социального устройства, или развитию науки, но все с той же конечной целью - улучшить общество, облегчить жизнь народа. Именно этим большинство исследователей объясняют эффективность исследований российских ученых этого периода в условиях острого дефицита финансирования, материальной базы и других трудностей по сравнению с учеными других стран, работавших в более благоприятных условиях. Примеряясь к определению Федотова, речь идет, скорее, уже о движении (примечательно, что это поколение интеллигенции породило и знаменитое Хождение в народ 1873 г.), заложившее традицию научного служения как жертвенности по имя всеобщего блага.

Итак, говоря о российской интеллигенции в рамках контекста данного исследования, можно подытожить, что это – образованная часть социума, находящегося в процессе перехода от аграрного к индустриальному обществу в рамках второго эшелона модернизации, то есть, имеющих признаки «догоняющей модернизации», в рамках которой проводники изменений, наряду с научными знаниями, выступают также как проводники идей социального устройства, не присущего данному социуму. Чем более такие идеи «беспочвенны», то есть нехарактерны для данного социума, тем сильнее проводники осознают свою маргинальность и в качестве компенсаторной меры вырабатывают свод представлений о должном, в котором научная и инженерная деятельность становятся не обычным профессиональным занятием, а – социальным служением с чертами жертвенности. Именно в этом заключается отличие понятия «интеллектуал» (присущего странам органической модернизации) от понятия «интеллигент». На примере стран второго и последующих эшелонов модернизации можно убедиться, что чем больше разрыв между традиционным и привносимым укладами, тем больше будет и это отличие.

Для той части российской интеллигенции, которая выбирала научную и инженерную стезю, это означало готовность к самопожертвованию во имя великой цели, как следствие - как уже указанную повышенную эффективность исследований «не благодаря, а вопреки» в самых неблагоприятных условиях, искать нестандартные выходы для преодоления препятствий, готовность работать в долгую, не ожидая сиюминутного результата и благодарности, но надеясь, что их труды хотя бы «...в отдаленном будущем, дадут обществу горы хлеба и бездну могущества» [8, с. 1]. Кроме того, это означало и социальную ангажированность (занятия наукой как вид социальной активности), стремление максимально расширить свой кругозор и выйти на уровень научно обоснованной философии – не даром свои философские системы и проекты идеального научно обоснованного общества всеобщего счастья в этом поколении старались создать представители самых разных наук – от агронома и экономиста до историка [см. 5; 9–11].

Логично было бы ожидать, что явление, известное под названием «российская интеллигенция» как «движение» должно было бы завершиться с окончанием модернизации и переходом России к индустриальному обществу, то есть, с окончанием форсированной модернизации и послевоенного восстановления в СССР – к 50-м годам XX в., перейдя в реликтовую стадию «традиции». Однако, с учетом идейно-политических особенностей форсированной модернизации

этот период закончился раньше в 1920-х – начале 1930-х годов. Преемственность поколений была в этот период прервана, идейное наследие большинства представителей российской интеллигенции оказалось недоступным для вновь создаваемой социальной страты образованных людей в СССР, а отдельные уцелевшие «реликты» были сильно ограничены в возможности транслировать свои мысли и убеждения.

Была создана новая социальная группа – «советская интеллигенция» определявшаяся как прослойка между рабочим классом и крестьянством. В определенный момент (конец 1950-х – начало 1960-х гг.) ей начали искусственно прививать часть традиций «русской (разночинной) интеллигенции», однако эти два понятия хоть и созвучны, но далеко не тождественны. В значительной степени советский интеллигент был ближе к понятию интеллектуал, то есть, человек, профессионально занимающийся наукой или инженерной деятельностью, а не рассматривающий ее как социальное служение. Появились отдельные понятия «техническая интеллигенция», «творческая интеллигенция», а затем – начиная с 1970-х годов само понятие «интеллигент» претерпело эволюцию от позитивной к негативной коннотации – рохля, неспособный на серьезные поступки пустой резонер, породив множество анекдотов и апокрифов типа приписываемого Л.Н. Гумилеву восклицания: «Какой я вам «интеллигент»? У меня профессия есть!» [12]. И тем не менее, как представляется, некоторые традиции российской интеллигенции, пусть и в усеченном виде, были восприняты послевоенным поколением ученых и инженеров.

В октябре 2024 года в «Мемориальном музее космонавтики» планируется открытие выставки, посвященной феномену советского инженера под рабочим названием «Жизнь замечательных инженеров». Выставка должна рассказать о нескольких инженерах 1960-х годов и показать, насколько они были удивительными людьми. Подготовка к выставке позволила ее организаторам охарактеризовать их типаж: они действительно горели работой, но при этом стремились к максимально полноценной жизни в разных направлениях. Советский инженер – это явление культурологическое, историческое, в котором сошлись высочайшего уровня образование, стремление к вершинам в рабочей деятельности и активная жизненная позиция – занятие спортом, творчеством, искусством. Все эти качества – по мнению организаторов - могут быть представлены и показаны на примере жизни В.Е. Бугрова.

Владимир Евграфович Бугров родился 18 января 1933 года в Москве в семье военнослужащего, авиационного метеоролога, в силу



чего тяга к техническому направлению была привита ему с детства, что в некотором роде предопределило его будущую карьеру инженера-механика по авиадвигателестроению. После окончания в 1956 году Московского авиационного института им. С. Орджоникидзе он был распределен в ОКБ-301 МАП (НПО им. С.А. Лавочкина) в отдел Н.Н. Горшкова, где разрабатывалась конструкция первой в мире сверхзвуковой двухступенчатой межконтинентальной крылатой ракеты «Буря» – уникальной ракеты, которая во многом предвосхитила проект «Энергия-Буран». На тот момент ракета «Буря» считалась очень перспективной, но в 1960 году проект был закрыт, а В.Е. Бугров был вовлечен в работу по проектированию ракеты «400» зенитного комплекса «Даль». При этом ситуация приобрела схожий характер – при всей успешности дальнего беспилотного перехватчика работы по комплексу «Даль» были прекращены.

В 1961 году В.Е. Бугров был переведен в ОКБ-1 (РКК «Энергия» им. С.П. Королева), где работал с 1961 по 1995 гг. после чего ушел на заслуженный отдых. В ОКБ -1 Бугров занимался темами, известными как «Лунная программа», «Марсианский проект» и проект «Энергия-Буран» (все закрыты на разных стадиях реализации).

В.Е. Бугрова действительно можно назвать гармонично развитой личностью. Бугров прошел путь от простого инженера к ведущему конструктору космических систем, смог не только реализовать себя в качестве перспективного инженера, но и попробовал свои силы в новой для всего мира профессии – космонавт, хоть в космос так и не отправился. В.Е. Бугров профессионально увлекался многими видами спорта: прыжки с шестом (чемпион Москвы 1959 года), подводная охота (победитель чемпионата Москвы 1960 года), горные лыжи (в 1974 году написал пособие, которое впоследствии было рекомендовано председателем Всесоюзной федерации горнолыжного спорта космонавтом Георгием Гречко и старшим тренером сборной страны Леонидом Тягачевым к тренировкам детей), дельтапланеризм (был одним из создателей Федерации дельтапланерного спорта СССР, заместителем председателя и председателем комиссии по безопасности). Под его руководством создавались уникальные стенные газеты предприятия ОКБ-1, (которые без сомнения можно назвать важным историческим источником). С 2003 по 2011 гг. В.Е. Бугров был активным участником работы Научных чтений памяти К. Э. Циолковского, активно выступая с докладами на Секции № 1 «Исследование научного творчества К.Э. Циолковского и история ракетно-космической науки и техники» [13, и др.].

Однако, как представляется, «феномен советского инженера» все же значительно шире, чем просто разносторонне развитая личность, успешная как на работе, так и вне ее – в своих хобби. Причина здесь – в особенностях формирования этой социальной группы.

В условиях форсированной модернизации в СССР особое внимание уделялось восстановлению кадров высокой квалификации, особенно в области техники и науки. Инженерное образование считалось приоритетным направлением, так как от уровня развития технического потенциала страны зависели не только ее экономическое благополучие, но и обороноспособность. Образ инженера активно формировался на государственном уровне. Пропаганда подчеркивала значимость науки и технического прогресса для построения коммунистического общества. Получить высшее техническое образование стремились многие из-за перспективности профессии: «В контексте форсированной модернизации и первых пятилеток советское руководство сосредоточивает внимание на решении вопроса подготовки технических специалистов как носителей инженерного знания. Итогом развития высшего технического образования в первом десятилетии сталинской индустриализации стало увеличение специалистов с высшим образованием, занятых в различных отраслях советской экономики, в четыре раза (с 233 тыс. человек в 1928 году до 909 тыс. человек в 1940 году) <...> В эпоху сталинской индустриализации инженер как носитель технической культуры приобретает высокий социальный статус» [14, с. 220-221]. Эта тенденция продолжилась и в послевоенные годы, при этом можно отметить некоторое сходство в мотивации, вокруг которой выстраивались личностные качества ученых – «служение народу и облегчение его жизни» у представителей дореволюционной интеллигенции и «строительство коммунизма как светлого будущего для всего человечества» у советского человека. Подкрепленная пусть и урезанными по идеологическим соображениям примерами из жизни российских ученых конца XIX – первой трети XX вв. эта мотивация приводила к формированию сходных результатов: готовности работать во имя идеи, не ожидая особых материальных благ для себя и в значительной степени жертвуя своими интересами ради будущих поколений, готовность преодолевать любые препятствия ради великой цели и престижа страны, работать на долгую перспективу. Важной чертой становился в таком случае широкий кругозор и готовность выходить за рамки узкой специализации. Следует также отметить сильную социальную ангажированность (чему способствовала и

сложившаяся в 1950-е - начале 1960-х годов система идеологического контроля и пропаганды).

Более того, заметные успехи СССР во многих отраслях науки и техники привели к росту популярности, авторитета и влияния на искусство, науку и культуру инженеров и ученых, причастных к этим успехам. В отличие от российской интеллигенции, из которой вышла целая плеяда властителей дум поколений – философов, публицистов и пропагандистов, в условиях политического единомыслия в СССР появление таких ярких индивидуальностей было невозможно. Но социальная группа «советских инженеров» в 1960-е годы стала коллективной референтной группой, на которую ориентировались новые поколения образованной советской молодежи и чьи представления во многом артикулировались в художественной литературе и искусстве того периода. В определенном смысле можно даже говорить о «феномене НИИшной культуры» [15].

Таким образом, «феномен советского инженера» - на данный момент не до конца устоявшийся термин, содержание которого также вариативно у разных исследователей. Можно сделать вывод, что речь скорее идет о социальной группе высокомотивированных ученых и инженеров, которая сложилась в условиях форсированной модернизации СССР и оформилась как «группа, движение и традиция» в 1950-х – начале 1960-х годов. Став на несколько десятилетий одним из заметных явлений, определявших неформальную идеологическую жизнь страны, она - как по сходным условиям формирования, так и в силу значительного сходства ценностных мотиваций – стала продолжателем целого ряда лучших традиций русской интеллигенции – понимания науки как формы социального служения, высокой степени самопожертвования ради блага будущих поколений, самоотверженного труда в не самых благоприятных условиях, выхода за рамки своей профессии в поисках светлого будущего человечества. Как минимум, той части русской интеллигенции, к которой принадлежал и К.Э. Циолковский.

### **Литература**

1. Коллингвуд Р.Дж. Идея истории; Автобиография / Р.Дж. Коллингвуд; Пер. и коммент. Ю.А. Асеева. – М.: Наука, 1980. - 485 с.
2. Федотов Г.П. Трагедия интеллигенции // О России и русской философской культуре. - М.: Наука, 1990. - С. 403-443.
3. Ясперс К. Смысл и назначение истории. – М.: Политиздат, 1991. – С. 27-286.

4. Хорунжий А.В. Новая проблематика в курсах отечественной истории: утопическая традиция и коммунитарный эксперимент в первой трети XX века // Преподавание отечественной (национальной) истории в вузе: новые подходы, концепции, методы. Материалы Четвертой международной конференции. Москва, 29 октября 1999 г. - М.: Изд-во РУДН, 1999. - С. 176-187.
5. Хорунжий А.В. «Идеальный строй» К.Э. Циолковского как стержень личности и зеркало эпохи // Открывая современность заново. - М.: РУДН, 2011. - С. 438-467.
6. Лавров П.Л. Исторические письма. – Пг.: Ред. журн. «Русское богатство», 1917. - 300 с.
7. Белов П.Т. Философия выдающихся русских естествоиспытателей второй половины XIX - начала XX в. - Москва: Мысль, 1970. - 488 с.
8. Циолковский К.Э. Первая модель чисто металлического аэрона из волнистого железа - Калуга: изд. авт., 1913. - 16 с.
9. Хорунжий А.В. Антиутопия в творчестве современников Циолковского: к 100-летию романа Е.И. Замятина «Мы» // Научное наследие К.Э. Циолковского и его современное значение: Материалы 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга: «Эйдос», 2020. – С. 106-115.
10. Хорунжий А.В. Советская власть как шаг к реализации собственной утопии: к характеристике утопического сознания в России первой трети XX в.// Утопические проекты в истории культуры: материалы III Всероссийской (с международным участием) научной конференции «Утопические проекты в истории культуры» на тему «(Не)возможные миры: настоящее и будущее в зеркале антиутопии». – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. – С. 112-120.
11. Хорунжий А.В. Представления Н.А. Рожкова о будущем человечества: исторический контекст формирования взглядов К.Э. Циолковского // Идеи К.Э. Циолковского в теориях освоения космоса: Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Часть 1. – Калуга: Эйдос. 2023. – С. 119-129.
12. «Какой я вам «интеллигент»? У меня профессия есть!» Кто же хочет поражения стране? Интеллигенция или/ Канал «Только факты» // Дзен | Статьи [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/ZDKm5aBmzHtov0Pw> (дата обращения: 24.06.2024).
13. Бугров В.Е. К. Э. Циолковский и С.П. Королев: мечта и реальность в связи с проблемой полета на Марс // К.Э. Циолковский и

современность: Материалы XLII Научных чтений памяти К. Э. Циолковского. – Калуга, 2007. – С. 43-44.

14. Колчанова Ю. С. Мир вещей советского инженера в 1930-е годы (по материалам пермских архивов) // Вестн. Перм. ун-та. Сер. История. 2015. № 1 (28). - С. 220-227.

15. Самый главный продукт советских НИИ. Часть 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://germanyach.livejournal.com/373863.html> (дата обращения: 24.08.2024).

УДК 93/94

eLIBRARY.RU: 03.00.00

**Царев С.С.**

**Tsarev S.S.**

магистр истории

РУДН, г. Москва

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТ  
К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО И РЭЯ ДАЛИО  
В РАМКАХ ТЕОРИИ РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WORKS  
OF K.E. TSIOLKOVSKY AND RAY DALIO  
IN THE FRAMEWORK OF THE THEORY  
OF THE DEVELOPMENT OF CIVILIZATION**

**Аннотация.** Анализируются основные постулаты развития общества К.Э. Циолковского и Р. Далио. Рассматриваются идеи Циолковского о будущем развитии человечества, а также исторические искания Далио и его попытки вывести алгоритм развития общества в различные эпохи.

**Ключевые слова:** Р. Далио, прогресс, теория развития общества, прогностический потенциал, К.Э. Циолковский.

**Abstract.** The article analyzes the main postulates of the development of society by K. E. Tsiolkovsky and R. Dalio. The ideas of K. E. Tsiolkovsky about the future development of humanity and the role of knowledge in this, as well as the historical searches of Ray Dalio and his attempts to derive an algorithm for the development of society in different eras are considered.

**Keywords:** R. Dalio, progress, theory of social development, prognostic potential, K.E. Tsiolkovsky.

Развитие общества – проблема, интересовавшая не одно поколение ученых и исследователей. История насчитывает немало гипотез о принципах развития человечества, каждая из которых выделяет свои нормы и законы.

К.Э. Циолковский главную цель развития человечества видел в том, чтобы оторваться от Земли и осваивать космическое пространство (ученый первым в мире опубликовал научную работу по теоретической космонавтике [1]). Смысл же своей жизни ученый видел в том, чтобы показать человечеству этот путь. Циолковский полагал, что для более рационального движения цивилизации ее обществу необходимо планировать свое развитие и иметь глобальную цель. Цель развития нашей цивилизации Циолковский видел в будущем достижении других планет, создании там поселений и постепенном превращении земной цивилизации в межзвездную. Ученый поднимал вопрос о научном и духовном прогрессе, который должен сопровождать технологические изменения [2]. Неоднократно в своих работах он обсуждал вопрос о социальной справедливости, важности образования и необходимости объединения людей ради достижения общечеловеческих целей [3].

Рэй Далио роль основной и постоянной силы в развитии общества отдавал эволюции, которую мы не видим, как и не замечаем ее сил, однако явственно ощущаем происходящие изменения, вытекающие из различных событий и явлений [4]. Эволюцию Далио рассматривает как движение к постоянному совершенствованию, которое возникает как результат адаптации и обучения [4]. Именно вокруг эволюции начинают формироваться различные циклы развития общества: «<...> Эволюция – сравнительно плавный и устойчивый процесс улучшений, возможный благодаря тому, что мы приобретаем больше знаний, чем теряем» [4, с. 30]. Циклы же напоминают движение маятника, который раскачивается то в одну, то в другую сторону. Вместе эволюция и циклы движутся «по восходящей спирали, последствия чего мы можем наблюдать во всем: в уровне благосостояния, политике, биологии, технологиях, социологии, философии и т. д.» [4, с. 31]. Углубляясь в историю, Далио пришел к выводу, что существование мировых цивилизаций подчиняется определенному алгоритму и некоей логике политико-экономического цикла, которые можно просчитать и тем самым предугадать этапы развития общества.

Согласно идеям Циолковского, образование и наука – основа развития общества, распространение образования среди населения является ключевым фактором общественного прогресса. Более того, ученый полагал, что знания ведут к улучшению жизни – накопление и

применение научных знаний позволило бы, по мнению Циолковского, человечеству решить множество экономических и социальных проблем, что привело бы к повышению качества жизни людей. В основе концепции американского исследователя лежит материальный принцип политико-экономического цикла, базирующийся на экономических факторах развития человеческого общества в различные исторические эпохи.

### **Литература**

1. Циолковский К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами // Научное обозрение. 1903. № 5. С. 45-75.
2. Циолковский К.Э. Будущее Земли и человечества. Калуга: изд. автора, 1928. - 28 с.
3. Циолковский К.Э. Воля Вселенной. Незвестные разумные силы. - Калуга: изд. автора, 1928. -23 с.
4. Далио Рэй. Принципы изменения мирового порядка. Почему одни нации побеждают, а другие терпят поражение. Пер. с англ. Д. Миронова. – М.: МИФ, 2024. – 528 с.
5. Когай Е.А. Футуристические проекты К.Э. Циолковского и В.И. Вернадского // Гуманитарные ведомости ТГПУ им. Л.Н. Толстого. – 2013. - № 4 (8). – С. 62–69.
6. Лыткин В.В. Роль и место Разума во Вселенной («Космическая философия» К.Э. Циолковского) // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12 (54). – С. 151-154.
7. Назаретян А.П. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. (Синергетика – психология – прогнозирование). М.: Мир, 2004. – 368 с.
8. Хорунжий А.В. «Идеальный строй» К.Э. Циолковского как стержень личности и зеркало эпохи // Открывая современность заново. – М.: РУДН, 2011. – С. 438–467.

УДК: 008.001.14  
eLIBRARY.ru 13.00.00

**Грушевицкая Т.Г.**  
**Grushevitskaya T.G.**  
кандидат философских наук, доцент  
КГУ им. К.Э. Циолковского

**ОТ СОВЕТСКОЙ К РОССИЙСКОЙ ФАНТАСТИКЕ:  
ИЗ СВЕТЛОГО/ПРОКЛЯТОГО БУДУЩЕГО  
В ТЁМНОЕ/СЧАСТЛИВОЕ ПРОШЛОЕ**

**FROM SOVIET TO RUSSIAN FICTION:  
FROM A BRIGHT/CURSED FUTURE  
TO A DARK/HAPPY PAST**

**Аннотация.** Научную фантастику (НФ) можно рассматривать не только как отражение успехов в развитии науки и техники, но и как зеркало той социальной ситуации, которая складывается в обществе. Именно так делается выбор приоритетных тем и сюжетов научно-фантастических произведений. Поэтому в советские времена, когда большая часть людей была уверена в завтрашнем дне и верила в светлое будущее, тема возврата в прошлое была неактуальна. В наше время, пройдя через крушение страны в «лихие девяностые» и с радостью наблюдая возрождение России как великой державы, тема великого прошлого, возможной коррекции истории для ускорения этого процесса привела к массовому появлению жанра альтернативной истории в НФ.

**Ключевые слова:** Научная фантастика, альтернативная история, «попаданцы», коррекция истории, имперские настроения.

**Abstract.** Science fiction can be considered not only as a reflection of successes in the development of science and technology, but also as a mirror of the social situation that is developing in society. This is how the choice of priority themes and plots of SF works is made. Therefore, in Soviet times, when most people were confident in the future and believed in a bright future, the topic of returning to the past was irrelevant. Nowadays, having gone through the collapse of the country in the "dashing nineties" and joyfully watching the rebirth of Russia as a great power, the theme of the great past, the possible correction of history to accelerate this process has led to the massive emergence of the genre of alternative history in SF.

**Keywords:** Science fiction, alternative history, "hit men", correction history, imperial sentiments.

Феномен НФ давно интересует не только литературоведов, но и философов, и культурологов. Поэтому достаточно подробно многими исследователями (в том числе, и нами) изучены связи НФ с наукой, ходом научно-технического прогресса, сциентистским мировоззрением [3, 4, 5], футурологией и рядом других проблем. И вполне заслуженно фантастику называют зеркалом грядущего [15],



ведь классическая НФ чаще всего описывала мир будущего, причем акцент делался на его техническую составляющую. Если учесть, что научная фантастика возникла в эпоху романтизма и первые ее серьезные успехи приходится на середину – вторую половину XIX века, когда сциентистское мировоззрение стало господствовать в европейской культуре, это вполне объяснимо. Ведь именно тогда наука (прежде всего, естествознание) стала демонстрировать свои впечатляющие успехи, так что не только ученые, но и гуманитарная интеллигенция, среди которых были и писатели, верили в безграничные возможности науки. Так что когда они описывали мир будущего, то, в меру своей фантазии, рисовали города с многочисленными техническими чудесами. В качестве примера можно привести неоконченную повесть В.Ф. Одоевского «4338 год» [13]. И чем больше были успехи науки, тем активнее сочиняли подобные произведения как авторы «золотого века» англоязычной фантастики, так и наши отечественные писатели. Часто среди таких авторов были и сами ученые, которые выбирали форму художественного произведения для популяризации своих идей. Среди них – академик В.А. Обручев, написавший два очень неплохих научно-фантастических романа («Плутония» и «Земля Санникова») [12]. Но оборотной стороной такого подхода нередко стало пренебрежение к художественной стороне произведений, что позволило многим критикам презрительно относиться к научной фантастике, считая ее литературой второго сорта, либо же разновидностью научно-популярной или детской литературы.

Разумеется, такой подход несправедлив, и количество графомании в научной фантастике вряд ли превышает таковое в литературе мейнстрима. Прекрасным опровержением могут служить многочисленные произведения Ж. Верна [2], замечательного писателя, искренне верившего не только в научный прогресс, но и в человека. А произведения Г. Уэллса, еще одного классика НФ, уже отражают иные, антисциентистские тенденции. Все его знаменитые произведения, начиная с «Машины времени» и «Человека-невидимки» и до «Войны в воздухе» [19] стремятся показать социальные последствия развития науки и техники, а поскольку автор не питает иллюзий по поводу человеческой природы, то его прогнозы достаточно пессимистические. Именно с Уэллса можно вести отсчет социальной фантастики, рассматривающей социальные последствия научных открытий и технических изобретений.

Постепенно тема общественного устройства мира будущего стала все больше занимать фантастов, и в ней научно-технический аспект

был почти не важен. Потому что в этом вопросе научная фантастика становилась зеркалом настоящего – фактически экстраполируя в будущее черты существующего общественного строя, либо в меру своей фантазии воплощая мечты о будущем в рамках имеющихся социальных идеалов.

Поэтому в западной НФ почти невозможно найти социальные модели, кардинально отличающиеся от конкурентного мира капитала. Более того, нередко западные авторы рисуют мир, в котором ярко проявляются негативные тенденции (экологический кризис, демографическая катастрофа перенаселения, третья мировая война и т. п.), и тогда выжить в нарисованном в их произведениях мире становится совсем не просто обычному человеку.

В нашей отечественной фантастике ситуация иная. Модели будущего в советской фантастике в большинстве своем базировались на идеалах коммунизма. Поэтому в произведениях о ближайшем будущем еще могли существовать две системы – социализм и капитализм или его остатки, но при этом преимущества нового общественного устройства выглядели неоспоримыми. Такое будущее мы видим в произведениях А. Беляева [1], А. Толстого (особенно в его «Аэлите» [18], А. Казанцева [10]). А в произведениях И. Ефремова [7], братьев Стругацких [17] и других авторов, заявивших о себе в период Оттепели, речь шла уже о далеком и непременно светлом коммунистическом будущем, в котором объединившееся человечество переделывает облик планеты, осваивает дальний космос, совершает грандиозные научные открытия и пусть с трудностями, но справляется со всеми возникающими на его пути проблемами. Встречи с Иным разумом также рассматривались в контексте императива, заданного И. Ефремовым – только объединившееся на коммунистических началах планетарное сообщество может выйти в Большой космос. Именно об этом Ефремов пишет в своей повести «Сердце Змеи» [7], полемизируя с известным рассказом М. Лейстнера «Первый контакт» [11].

Такое настроение этих произведений не случайно. Это было время Оттепели, когда Н. Хрущев пообещал построить коммунизм к 1980 году и молодежь искренно в это верила, когда была существенно ослаблена цензура и в произведениях искусства того времени очень ярко отражался этот искренний порыв. Очевидно, поэтому тема путешествий в прошлое и «попаданцев» была совсем не популярна в НФ этого периода. Ведь прошлое могло быть только «темным», полным людских страданий, не дающим возможности сформироваться полноценному Человеку-творцу. Рассуждений на эту тему немало в произведениях И. Ефремова.

Уже в 1970 годы ситуация стала меняться. После Оттепели страна плавно входила в брежневский застой, и общественные настроения стали меняться. Про будущую победу коммунизма еще продолжали говорить, но верили в нее все меньше. В искусстве это привело к появлению сурового стиля в живописи и засилью мелкотемья в кино и литературе мейнстрима. Изменились настроения и в НФ. В книгах все еще сохраняется светлое коммунистическое будущее, но все чаще в нем происходит контакт с враждебным разумом. У И. Ефремова в романе «Час быка» это планета Торманс, куда прилетает звездолет с коммунистической Земли [7], а у С. Снегова – галактическая цивилизация разрушителей, с которой сталкиваются коммунисты-земляне в трилогии «Люди как боги» [16]. Меняется настроение в книгах братьев Стругацких, где представители Института экспериментальной истории (с коммунистической, по умолчанию, Земли) изучают самые разные миры, вот только коммунистических среди них уже нет. А в книгах Е. Гуляковского [6] и С. Павлова [14] все громче звучит мысль о том, что через прорубленное в космос окно могут прийти не только доброжелательные инопланетяне, готовые на равных контактировать с земной цивилизацией, но и многочисленные опасности, в том числе и возможное изменение самой природы человека.

В 1980 годы эти настроения только усиливаются, а с началом «лихих девяностых» и вовсе становятся ведущими. «Светлое» счастливое будущее практически полностью исчезает из отечественной фантастики, которая почти перестает быть научной. Наоборот, все большее число авторов пишет в жанре постапокалипсиса, когда действие произведения происходит в мире после глобального ядерного или экологического катаклизма, и руины погибшей цивилизации, в которых разворачивается сюжет, вряд ли можно считать желаемым будущим. Именно на этом фоне, отражая общественные настроения после гибели СССР, и начинают появляться книги в жанре альтернативной истории, или, как их чаще называют, литература про «попаданцев». Поначалу их было немного – «Одиссей покидает Итаку» В. Звягинцева (причем тема альтернативы проходит там побочной линией) [8], «Вечный» Р. Злотникова [9]. При этом общий настрой этих книг был достаточно либеральным – попав в «темное» прошлое герои непременно хотели изменить его к лучшему, причем это «лучшее» связывали с демократическим переустройством общества.

Начиная с 2000 годов, тонкий ручеек «попаданческой» литературы превращается в мощный поток. С 2010 годов разные издательства

издают целые серии подобной литературы – «Военная фантастика», «Военная боевая фантастика», «В вихре времени», «Попаданец», «Военно-историческая фантастика», «Фантастический боевик. Новая эра», «Попаданец. Назад в СССР», «Фантастическая история» - и это лишь самые развитые серии. Большинство из них имеют в своем активе по несколько сотен опубликованных книг. В них герой, наш современник (он может быть как крутым спецназовцем, так и обычным «офисным планктоном») вдруг «попадает» в прошлое (наше либо альтернативное, с иным течением ключевых событий истории). Иногда авторы пытаются объяснить, как это случилось (межвременной портал, самолично либо другом сделанная машина, действие потомков или иной цивилизации), но чаще этот момент остается без объяснений. Мы получаем лишь факт – герой переносится в прошлое. Это может происходить в его собственном теле, может переноситься лишь сознание героя, попадая в кого-то из аборигенов (как простых людей, так и значимых исторических фигур), в последнее время популярностью пользуется перенос сознания героя в свое детское тело. Иногда авторы переносят целые воинские подразделения или даже целые территории со всем, что там есть. А дальше герой (герои) сознательно (или неосознанно) начинает менять этот мир к лучшему, разумеется, в меру своего понимания этого «лучшего». При этом постепенно настроение большинства книг (и их авторов) начинает меняться. Уже есть расхожие шутки по этому поводу – попасть к Сталину, чтобы сделать промежуточный патрон и командирскую башенку на Т-34, и перепеть Высоцкого. При этом все чаще прошлое, в которое «попал» герой, уже не кажется таким уж «темным». Поэтому целью героя становится способствовать становлению великой России как империи. И неважно, в каком времени это происходит – поэтому сохранить Российскую империю (или создать ее), если действие происходит до 1917 года, сохранить и помочь избежать ошибок, если это Советский Союз.

Безусловно, подобные книги появляются не на пустом месте. После идеологического провала девяностых и нулевых годов, когда мы чуть не потеряли страну, последние двадцать лет, когда идет неуклонный рост России во всех областях, активно развиваются и патриотические настроения. И «попаданческая» литература в большинстве своем отвечает на этот запрос со стороны общества. Россия снова должна стать великой державой. И авторы этих книг пытаются «переиграть» те или иные ключевые события нашей истории. Приоритет, безусловно, принадлежит русско-японской войне (1904-1905) и Великой Отечественной войне (1941-1945). Конечно, история не знает

сослагательного наклонения, но кто из нас не мечтал, что было бы, если... И авторы, пишущие в жанре альтернативной истории, дают нам такую возможность. А с началом СВО, когда отношения «мы – они, свои – чужие» резко поляризовались, и речь снова пошла о сохранении нашей страны и наших традиционных ценностей, имперские настроения в «попаданческой» литературе заметно усилились. Именно поэтому подобные книги сегодня находятся на пике популярности и не теряют своей аудитории.

### **Литература**

1. Беляев А.Р. Собр. соч. в 8 т. М.: Молодая гвардия, 1963-1964.
2. Верн Ж. Собр. соч. в 12 т. М.: Книга и бизнес, 1992-1993.
3. Грушевицкая Т.Г. Советская научная фантастика как зеркало успехов космонавтики // Материалы международной научно – практической конференции «ЧЕЛОВЕК – ЗЕМЛЯ – КОСМОС» - Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»), - 2021. - С. 80-86.
4. Грушевицкая Т.Г. Космизм и сциентизм в советской научной фантастике // К.Э. Циолковский, история и современность. Материалы 57-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Часть 1. – Калуга. ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). – 2022. С. 139-146.
5. Грушевицкая Т.Г. Насилие и война в космической научной фантастике (от И. Ефремова и Р. Ханлайна до С. Тармашева) // К.Э. Циолковский, история и современность. Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Часть 1. – Калуга. ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). – 2023. С. 129-134.
6. Гуляковский Е.Я. Сезон туманов. М.: Армада, 1993. – 526 с.
7. Ефремов И.А. Собр. соч. в 6 т. М.: Советский писатель, 1993.
8. Звягинцев В. Одиссей покидает Итаку. Цикл романов. 1993–2014.
9. Злотников Р.В. Вечный. М.: Альфа-книга, 2008.
10. Казанцев А. Собр. соч. М.: Молодая гвардия, 1977-1986.
11. Лейнстер М. Первый контакт // Туннель времени. М.: АСТ, 2003. С. 631-670
12. Обручев В.А. Плутония. Земля Санникова. – М.: ЭКСМО, 2017. – 640 с.
13. Одоевский В.Ф. 4338-й год // Русская литературная утопия. М.: МГУ, 1986 г. С. 102- 126
14. Павлов С.И. Лунная радуга. М.: Армада, 1993. – 624 с.
15. Парнов Е.И. Зеркало Урании. М.: Сов.Россия, 1982. – 224 с

16. Снегов С. Люди как боги. Калининград: Калининградское книжн. изд-во, 1986. – 607 с.
17. Стругацкие А. и Б. Собр. соч. в 12 т. М.: Текст, 1991–1993
18. Толстой А.Н. Аэлита. М.: Гос. изд-во худ. лит-ры, 1958. – 143 с.
19. Уэллс Г. Собр. соч. в 15 т. – М.: Правда, 1964 г.

УДК 93/94

eLIBRARY.RU: 03.23.00

**Максимовская Н.А.**

**Maximovskaya N.A.**

Союз журналистов России

**МАЛОИЗВЕСТНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИЗНИ  
К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО: ПО СТРАНИЦАМ  
НЕОПУБЛИКОВАННЫХ ДНЕВНИКОВ  
Л.К. ЦИОЛКОВСКОЙ**

**LITTLE-KNOWN INFORMATION  
ABOUT THE LIFE OF K.E. TSIOLKOVSKY:  
FROM THE PAGES OF UNPUBLISHED DIARIES  
OF L.K. TSIOLKOVSKY**

**Аннотация.** Изучено содержание дневника Л.К. Циолковской «Незадолго до смерти отца». Большая часть записей датируется сентябрем 1935 года и касается, в основном, последних дней жизни К.Э. Циолковского и прощания с великим ученым, а также событий, последовавших за его кончиной.

**Ключевые слова:** Любовь Константиновна Циолковская, дневники, воспоминания о К.Э. Циолковском.

**Abstract.** The content of L.K. Tsiolkovskaya's diary «Shortly before the death of her father» has been analyzed. Most of the entries are dated September 1935. The memories mainly concern the last days of K.E. Tsiolkovsky's life and farewell to the great scientist, as well as some persons and event details related to this period.

**Keywords:** Lyubov Konstantinovna Tsiolkovskaya, diaries, memoirs of K.E. Tsiolkovsky.

Любовь Константиновна Циолковская, старшая дочь К.Э. Циолковского, оставила ценные воспоминания о своем отце. В настоящее время большая часть их отложилась в Архиве РАН и в

фондах Государственного музея истории космонавтики имени К.Э. Циолковского. Несколько тетрадей с записями Л.К. Циолковской хранятся в семейных архивах потомков ученого. Многие воспоминания старшей дочери Циолковского опубликованы и хорошо изучены. Глубокий анализ архивных материалов с мемуарами Л.К. Циолковской был проведен Т.Н. Желниной [1].

Цель настоящей статьи – познакомить читателей с воспоминаниями Любви Константиновны, которые содержатся в старой школьной тетради, исписанной мелким почерком, с чернильной надписью на обложке «Дневник Л.К. Циолковской. Незадолго до смерти отца» [2]. В 1990-е годы она была передана в дар автору данной статьи внуком К.Э. Циолковского Владимиром Ефимовичем Киселевым для использования в научной работе.

Рядом с названием дневника дается уточнение: «Переписано с выпусками, не имеющими отношения к Конст. Эдуардовичу». Внизу, на первой странице обложки, Любовь Константиновна приписала, подчеркнув: «Не для опубликования». Судя по крайне ветхому состоянию тетради, записи в течение долгого времени многократно читались и изучались. Какие-либо сведения об опубликовании именно этой тетради не выявлены.

В тетради девять отделенных от обложки, пронумерованных листов. Почти все дневниковые записи касаются последних дней жизни Циолковского, первых дней после его кончины, а также связанных с этим периодом некоторых событийных подробностей и личностей. Они выполнены в хронологическом порядке и все, кроме последних, датированы по дням в период со второго по двадцать пятое сентября 1935 года. Более поздние воспоминания в самом конце тетради с подзаголовком «Из прошлого два года назад. 13.XI.1938 г.» включают сведения, касающиеся судьбы Дома-музея Циолковского и роли старшей дочери ученого в его становлении (то есть внесены в тетрадь в 1940 году) [2, л. 8об.-9об.].

В дневнике содержатся воспоминания Любви Константиновны о тяжелом состоянии Константина Эдуардовича в сентябрьские дни 1935 года. Из записей узнаем, что Циолковскому предлагали лечь в Кремлевскую больницу [2, л. 3]. Запись от 8 сентября, в день отправки в Калужскую железнодорожную больницу (об ожидании профессоров из Москвы): «Сегодня отец спал, но во сне стонал. Ничего не пил и не ел. С утра просил нас справиться, не приехал ли профессор, повторяя, что каждая минута дорога... Долго ждали самолетов с профессорами.

2 раза сообщал по телефону об их вылете Ильин<sup>1</sup>» Санитарная машина приехала в шесть вечера, Константин Эдуардович «бодро дошел до автомобиля и выразил надежду, что он еще вернется... Он просил было отложить операцию до утра, но врачи отказали. Пришлось подчиниться» [2, л. 1об.]. Во время операции, проводившейся в экстренном порядке поздно вечером, под местным наркозом, Константин Эдуардович вел себя мужественно и даже «рассказывал о своем предке Наливайко» [2, л. 3]. Первые три дня после операции ученый чувствовал себя несколько бодрее, но затем наступило ухудшение. По словам Циолковской ему были в тягость посещения в больнице и он говорил: «Животное и то стремится в этот момент забиться куда-нибудь подальше от людей» [2, л. 1об.] Любовь Константиновна отмечала несвойственную ранее ее отцу грубоватую манеру общения во время ее визитов в больницу.

В числе ряда лиц (Е.А. Киселев, Я.А. Рапопорт, М.Е. Филиппов, Б.Н. Воробьев и др.) Циолковская не раз с благодарностью упоминала калужского партийного работника М.С. Селиверстову, которая проявляла особое внимание к больному – навещала ученого, присутствовала в больнице во время операции и даже привезла Константину Эдуардовичу из Москвы коньяк и ром в качестве обезболивающего средства.

Отметим также отдельные записи, касающиеся творческого наследия Константина Эдуардовича. За несколько дней до отправки в больницу Циолковский вместе со старшей дочерью приводил в порядок рукописные материалы. Запись от 2 сентября: «Все утро разбирали с отцом рукописи. Он, по-видимому, делал это с большим трудом, иногда задыхался. В руках у него был угольный карандаш, которым он делал надпись на подаваемой мною папке, которую он клал на грудь и надписывал отдел. Так мы дошли до 13 отдела, а потом он уже больше не мог. Он отдал мне карандаш и сказал: после... сама допишешь»<sup>2</sup> [2, л. 1]. Работой по упорядочению научных работ ученого Любовь Циолковская продолжала заниматься в последующие дни сентября: «...Перетряхивала каждую рукопись, каждую книгу. Устраивала их по отделам в обложки или папки...» [2, л. 2].

Из записей следует, что в период пребывания Константина Эдуардовича в больнице архив ученого был под пристальным контролем Л.К. Циолковской и ближайшего окружения. Большую

---

<sup>1</sup> Ф.Н. Ильин – в 1935 г. член президиума ЦС Осоавиахима.

<sup>2</sup> В сборнике «К.Э. Циолковский в воспоминаниях современников» данный эпизод представлен в другой редакции [3, с. 160].



обеспокоенность по поводу сохранности архива проявлял Ф.М. Ильин: «Очень заботился о рукописях отца, хотел опечатать комнату, но мы запротестовали... решили запереть все в шкаф» [2, л. 4]. 19 сентября шкаф был опечатан членами комиссии, в числе которых были заведующая райздравотделом Силаева, председатель калужской секции научных работников Самойлович, представитель Дирижаблестроя Кольцов. Кольцов, который, по словам Любови Константиновны, в этот период жил в доме Циолковских, видимо, не вызывал у нее симпатии, поскольку у нее сложилось мнение, что этот человек «ни рыба, ни мясо» [2, л. 4], хотя эта характеристика как-то не вяжется с его решительными действиями. Уже после похорон ученого, в присутствии Кольцова, все материалы были переложены из шкафа в ящики. «4 ящика наложили рукописей, 5-й печатные труды. Кольцов действовал, - отметила Любовь Константиновна, - единолично» [2, л. 7об.], без приглашения членов комиссии, чем не без основания был возмущен С.И. Самойлович [2, л. 8].

В дни резкого ухудшения состояния Циолковского после операции судьба творческого наследия Константина Эдуардовича решалась самым серьезным образом. 13 сентября, по указанию «сверху», при участии секретаря райкома партии Б.Е. Трейваса, нескольких журналистов и непосредственно самого Циолковского, в палате больницы, где он лежал, было составлено и записано историческое письмо-завещание трудов ученого на имя И.В. Сталина, подлинник которого был отправлен в Москву через органы НКВД<sup>3</sup>. С содержанием письма Сталину «непокорную» старшую дочь ученого, не присутствовавшую при этом, ознакомили, на всякий случай, заочно. В записи от 14 сентября содержится следующая информация: «Явился Ильин и показал мне письмо, написанное якобы под диктовку отца – Сталину. Там есть слово «мудрейший» – наверняка знаю, что отец его так не назовет. Он добавил: К. Эд. говорит, что она, т. е. я, умница и поймет»<sup>4</sup> [2, л. 4]. В записи от 23 сентября Любовь Константиновна упомянула и благодарственное письмо к Сталину от членов семьи Циолковских с рядом подписей, под которым и ей предложили подписаться, от чего она наотрез отказалась. «Ильин, - писала она, -

---

<sup>3</sup> Подробности истории переписки К.Э. Циолковского с И.В. Сталиным см. в [4].

<sup>4</sup> Спустя годы Л.К. Циолковская писала в одном из дневников: «Перед смертью, конечно, он думал о судьбе своих трудов, но он сам не написал бы такого письма. Написать такое длинное письмо для умирающего было совершенно невозможно» [5].

пробовал угрозами воздействовать на мать. Я все равно отказалась» [2, л. 7об.].

О последнем визите родных к Константину Эдуардовичу 19 сентября: «Мать с Машей поехали в автомобиле в больницу. Спавший отец при их приходе проснулся: «Прощаться пришли? – обратился он к матери. – Я еще не умер». А на прощание обнял их и сказал: «Я выздоравливаю». Утешить ли их хотел или подразумевал уход из земной жизни» [2, л. 5об.].

Многочисленные, малоизвестные или известные по редким публикациям вкрапления, встречающиеся в дневниковых записях, представляют несомненный интерес. В целом, они дополняют образ Циолковского и общую картину последних дней его жизни, прощания с ученым и грандиозных похорон, носивших характер всесоюзной скорби, которые описываются в дневнике Циолковской довольно подробно. Одновременно воспоминания характеризуют их автора, ее честность, принципиальность, независимость взглядов и поведения, преданность идеям и делу Константина Эдуардовича, секретарем которого она была многие годы. Мысли Любви Константиновны на фоне траурного события: «Тоски не чувствовалось, а наоборот разгоралась в душе вера в будущую, гармоничную жизнь, полную красоты и всеобщего счастья. Все это так соответствовало идеям отца и его целеустремленной жизни» [2, л. 6].

### **Литература**

1. Желнина Т.Н. Мыслитель, ученый, гражданин // Знамя (Калуга). 17.09.1986.
2. Дневник Л.К. Циолковской. Незадолго до смерти отца. <1935, 1938, 1940 годы> // Архив Н.А. Максимовской.
3. К.Э. Циолковский в воспоминаниях современников. Тула: 1983.
4. Максимовская Н.А. История завещания Циолковского // Весть (Калуга). 30.09.2005.
5. Максимовская Н.А. Эпизод с письмом к Сталину // Знамя (Калуга). 10.03.1997.

## МЕЧТЫ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО ОБ ОСВОЕНИИ КОСМОСА И РЕАЛЬНАЯ КОСМОНАВТИКА

### K.E. TSIOLKOVSKY'S DREAMS OF SPACE EXPLORATION AND REAL COSMONAUTICS

**Аннотация.** Вопросы завоевания космоса, поднятые в трудах К.Э. Циолковского, рассматриваются в сопоставлении с развитием практической космонавтики.

**Ключевые слова:** освоение космоса, солнечная энергия, демографическая, продовольственная, экологическая и энергетическая проблемы, радиация, искусственная биосфера, взеземные ресурсы, риски, невесомость, эволюция человека.

**Abstract.** The issues of space conquest raised by K.E. Tsiolkovsky and their discrepancy with the development of practical cosmonautics are considered.

**Keywords:** space exploration, solar energy, demographic, food, environmental and energy problems, radiation, artificial biosphere, extraterrestrial resources, risks, weightlessness, human evolution.

Основоположник теоретической космонавтики К.Э. Циолковский в своих работах описал как будут развиваться космонавтика и человек. История практической космонавтики свидетельствует о том, что завоевание космоса и эволюция человека представляют собой более трудные задачи, чем предполагал ученый.

Приведем очевидные расхождения между тем, как идет освоение космоса, и идеями Циолковского.

1. По Циолковскому человечество осваивает космос, в основном, с целью утилитарной, хозяйственной – для решения демографической, продовольственной и энергетической проблем, а также с целью использования взеземных ресурсов. Освоение космоса, с его точки зрения, – не случайный зигзаг развития земной цивилизации, а неумолимая закономерность.

Внешняя угроза – это очевидная проблема для человечества, но вероятность глобальной катастрофы оценивается в 0,037%, а падение

крупных астероидов происходит в среднем раз в 100 млн. лет. Внутренняя угроза (крупные извержения вулканов и землетрясения) также редкое явление. Но особенно серьезной считается техногенная катастрофа. Во времена Циолковского техногенной проблемы не существовало, поэтому он ее не рассматривал в качестве угрозы.

Начиная с 1960-х годов, околоземная орбита превратилась в огромную свалку из искусственных космических объектов (спутники, их части, верхние ступени и разгонные блоки ракет) и их обломков, которые представляют реальную опасность для работающих космических аппаратов, особенно пилотируемых. В ближайшие десятилетия из-за засорения околоземного космоса станет трудно запускать космические аппараты, тем более невозможно будет создавать города-поселения, о которых много писал Циолковский. Остается открытым вопрос: сможет ли в дальнейшем развиваться космонавтика?

2. Циолковский предлагает использовать оранжерею с растениями на космических станциях – систему замкнутого цикла, чтобы пополнять запасы кислорода, питания и воды, которые смогут обеспечить сколь угодно длительное пребывание человека в космосе. Но эксперименты на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» показали, что многие растения плохо развиваются в невесомости, космонавты смогли лишь вырастить карликовую пшеницу и некоторые виды салата, а птенцы перепела погибали. Еще предстоит определить экспериментально, можно ли вообще вырабатывать с помощью растительности достаточное питание и воздушную среду для многомиллионных жителей в космических поселениях, поскольку создать в малом объеме искусственную биосферу пока не удалось.

3. Циолковский написал более 20 работ, в которых рассматривал научные и технические проблемы промышленного освоения космоса; он ратовал за использование внеземных природных ресурсов: «Легко и удобно производятся работы <в космосе – С.Г.>. <...> Не надо никаких лестниц, кранов, подмостков, лесов, блоков, подъемных машин, домкратов и т. д.» [1, с. 254.]. Между тем, опыт космических полетов показывает, что работа в открытом космосе не простая прогулка, она сопряжена с риском. Космонавт подчас теряет за выход несколько килограммов веса – настолько трудна и опасна их работа в открытом космосе! Так что до промышленного освоения космоса и использования внеземных ресурсов еще далеко.

4. Циолковский был счастлив, что нашел способ проникнуть в космос, где есть преимущества для жизни человека: отсутствие силы тяжести, ненужность многих бытовых предметов, возможность

строительства сколь угодно больших поселений и сооружений. Ученый считал, в космосе человек обретет счастливую жизнь: «Космос содержит только радость, довольство, совершенство и истину» [2, с. 27]. Но и эти идеи на поверку оказались несостоятельными, т. к. невесомость представляет собой чрезвычайно острую проблему. Установлено, что при длительной невесомости мышцы слабеют, вымывается кальций из костей – они становятся хрупкими, кроме того, сердце уменьшается в размерах и изменяется работа сердечно-сосудистой системы. Артерии страдают, они становятся жестче, что грозит сердечными приступами и инсультами. Замечено, что условия микрогравитации приводят к преждевременному старению, как предполагают медики, они влияют и на генетику. Сегодня мы знаем о влиянии невесомости на организм человека при годовом полете, но пока остается неясно, как отразится на здоровье людей более долгое пребывание в космосе. Большим, слабым и престарелым космический полет вообще противопоказан.

Но главная проблема жизни в космосе – воздействие радиации на человека, которая в десятки раз больше, чем на Земле. Пока не существует эффективной радиационной защиты от солнечной вспышки и галактического излучения, способные вызвать лучевую болезнь.

5. Как повлияет на психику человека долговременное пребывание в замкнутом пространстве? Сочетаемость психотипов людей при длительной жизни в космосе – пока еще неизведанная область медицины. В своих произведениях Циолковский рисует счастливую, безмятежную жизнь космических поселенцев, которые как-то приспособились к агрессивной среде и не испытывают каких-то неудобств, тем более не меняется их самочувствие. Как это им удалось – неизвестно.

6. Циолковский предлагает использовать искусственную силу тяжести в космосе: «...» Если нуждаются в силе тяжести, то ее чрезвычайно легко тут получить вращением камеры, где производится наблюдение или действие. Чем быстрее будет это вращение, тем сильнее будет искусственная тяжесть. Величина ее может изменяться от нуля до произвольной большой величины» [1, с. 253–254.]. Однако, скорее всего, создать полноценные условия для человека, чтобы его организм воспринимал тяготение, как земное, за счет искусственного вращения не представляется возможным.

7. В трудах Циолковского затрагивается проблема эволюции человека как вида, его модификации. Он убежден, что перемены в человеке обязательно должны произойти двумя путями: 1) улучшение

человека посредством смены среды обитания, т. е. выход в космос, где нет гравитации, что позволит достичь больших размеров мозга; 2) улучшение по принципу позитивной евгеники: «Породы людей будут искусственным подбором улучшаться, и достигнут невообразимой умственной и нравственной высоты» [3, с. 48]. К сожалению, возложение своих функций на роботов, остановка интеллектуального развития в общей массе из-за увлечения виртуальными играми и бездумного времяпрепровождения в гаджетах приводят к деградации. Здесь оптимизм Циолковского в отношении улучшения человека как вида и его качеств на данном этапе эволюции терпит фиаско.

8. Циолковский обсуждал также проблему бессмертия человечества, расселения его в космосе в случае катастрофических событий, а также с целью овладения пространством и временем: «...» В течение десятков тысяч лет путешествия к другому светилу людской род, летя в искусственной обстановке, будет жить запасами потенциальной энергии, заимствованной от нашего Солнца. «...» Лучшая часть человечества, по всей вероятности, никогда не погибнет, но будет переселяться от Солнца к Солнцу по мере их погасания» [1, с. 312, 322–323]. Это - проблема отдаленного будущего, т. к. неизвестно как будет идти освоение космоса. Возможно, возникнут поправки и в эти представления и прогнозы Циолковского.

### **Литература**

1. Циолковский К.Э. Земля космическая. М.: Госкорпорация «Роскосмос», 2017.
2. Циолковский К.Э. Космическая философия. Сост. Д.Н. Попов. М.: ИДЛи, Сфера, 2004.
3. Циолковский К.Э. Научная этика. Калуга, изд. автора, 1930.

УДК 72

eLIBRARY.RU: 89.1.09

**Логоватовская Е.С.**

**Logovatovskaya E.S.**

профессор,

Международная Академия Архитектуры,

Российская Академия архитектуры

и строительных наук

**АРХИТЕКТУРА КОСМИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ  
В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ В СВЕТЕ ИДЕЙ  
К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО**

**THE ARCHITECTURE OF SPACE CLUSTERS  
IN THE SOLAR SYSTEM IN THE LIGHT  
OF K.E. TSIOLKOVSKYS IDEAS**

**Аннотация.** Человечество движется к глобализации и переходу на новый уровень развития – планетарный и межпланетарный. Альтернативный вариант по сохранению цивилизации представлен в концептуальном проекте: «Архитектура космических кластеров в «Солнечной системе».

**Ключевые слова:** космическая архитектура, обсерватория, космопортпланетарий, Луна, Марс, астероид, спутник Европа.

**Abstract.** Humanity is moving towards globalization and the transition to a new level of development - planetary and interplanetary. An alternative option for the preservation of civilization is presented in the conceptual project: "Architecture of space clusters in the Solar system.

**Keywords:** space architecture, observatory, spaceport, planetarium, Moon, Mars, asteroid, satellite Europa.

Концепция архитектуры космических кластеров в Солнечной системе, представлена в виде прогностических проектов. В ходе проведения ретроспективного анализа были выявлены следующие типы кластеров, формирующих архитектурный облик Солнечной системы будущего.

1. Космический туризм.

1.1 Кластер: Космопорт «Россия» в Ростовской области.

1.2 Кластер: Планетарий и обсерватория XXI века на околоземной орбите.

2. Колонизация планет и спутников планет Солнечной системы.

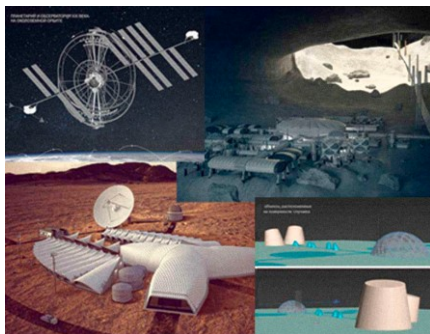
2.1. Кластер: Обитаемая база на Луне.

2.2. Кластер: Центр планетарных исследований и адаптации на **Марсе**.

2.3. Многофункциональный космический объект (освоение спутника Юпитера-Европы).

3. Добыча полезных ископаемых на астероидах, планетах и спутниках планет Солнечной системы.

3.1 Кластер: Промышленный космический объект (освоение большого пояса астероидов, расположенного между Марсом и Юпитером) Астероид ИДА.



### **Литература**

1. Саган Карл. Космос. – М.: Траектория. АИФ, 2020.
2. Саган Карл. Голубая точка. Космическое будущее человечества. – М.: Траектория, АИФ, 2018.

УДК 629.7

eLIBRARY.RU: 55.42.49

**Левочкин П.С.**

**Lyovochkin P.S.**

зам. генерального директора

главный конструктор

**Судаков В.С.**

**Sudakov V.S.**

член-корреспондент РАКЦ

главный специалист

**Колинова С.А.**

**Kolinova S.A.**

начальник группы

АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»



## МОЩЬ ЭНЕРГОМАША. К 95-ЛЕТИЮ АО «НПО ЭНЕРГОМАШ ИМЕНИ АКАДЕМИКА В.П. ГЛУШКО»

### POWER OF ENERGO MASH. TO 95-TH ANNIVERSARY OF NPO ENERGO MASH NAMED AFTER ACADEMICIAN V.P. GLUSHKO

**Аннотация.** Представлена краткая история НПО Энергомаш – ведущего предприятия по разработке мощных жидкостных ракетных двигателей. Рассказывается об основных разработках предприятия с 1929 года по современное время, о решаемых в настоящее время задачах.

**Ключевые слова:** жидкостный ракетный двигатель, ракета-носитель, огневые испытания, космонавтика.

**Abstract.** A brief history of NPO Energomash – leading company on development of powerful liquid propellant rocket engines is present. It is story about main developments of company since 1929 up to current time, about tasks which resolving now.

**Keywords:** liquid rocket engine, launch vehicle, firing tests, cosmonautics.

*Я выбрал то, с чего начинается ракетная техника,  
то, что лежит в ее основе, определяет ее возможности и лицо  
– ракетное двигателестроение.*

В.П. Глушко

Акционерное общество «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» является старейшим предприятием ракетной двигателестроительной отрасли и ведет отсчет своей работы с 15 мая 1929 года.

Наша история начинается с первого рабочего дня будущего академика В.П. Глушко в качестве руководителя небольшой группы по разработке ракет и двигателей в составе Газодинамической лаборатории в Ленинграде [1].

Неоднократно менялось место расположения нашего предприятия, его ведомственная подчиненность, но неизменной оставалась основная тематика – жидкостные ракетные двигатели. Москва – РНИИ, Тушино и Казань – КБ-«шарашка» в структуре НКВД, Казань - ОКБ-СД и наконец, Химки - ОКБ-456, сейчас АО «НПО Энергомаш» [2].

Жидкостные ракетные двигатели, разработанные в НПО Энергомаш, надежно выводят практически все отечественные космические объекты, начиная с первого искусственного спутника Земли, первого космического корабля с человеком на борту, до

орбитальной станции «Мир», сверхмощной ракеты «Энергия» с космическим кораблем «Буран» и элементов Международной космической станции.

За свою историю АО «НПО Энергомаш» создало около 60 модификаций ЖРД как для космических РН, так и для боевых баллистических ракет, ставших надежным ракетно-ядерным щитом нашей Родины.

Диапазон тяг от 80 до 800 тс позволяет проектировать с их использованием практически любую ракету-носитель от легкого до тяжелого и сверхтяжелого классов, что позволяет НПО Энергомаш сохранять мировое лидерство в области ракетного двигателестроения.

Всего было изготовлено около 18 тысяч разработанных НПО Энергомаш ЖРД. Около 5 тысяч из них использованы в ходе отработки элементов конструкций и других испытаний двигателей. 13 тысяч ЖРД успешно отработали в составе первых и вторых ступеней космических ракет. Это значительно выше, чем у какой-либо иной фирмы в мире по разработке и производству ЖРД.

Технические решения 1950-х годов сделали возможным создать двигатели РД-107 и РД-108 для первой в мире межконтинентальной баллистической ракеты Р-7, которая стала первой ракетой, вынесшей 4 октября 1957 года первый рукотворный спутник на околоземную орбиту. Эти же двигатели обеспечили успешный полет 12 апреля 1961 года первого космонавта Земли Ю.А. Гагарина. Модификации этих двигателей и сегодня обеспечивают успешное выполнение отечественной пилотируемой программы и будут служить еще много лет [3].

Большим практическим достижением явилось создание в 1961-65гг. двигателя РД-253 для РН «Протон». Это самый мощный однокамерный ЖРД, работающий на высококипящих компонентах топлива. Впервые в мире столь мощный двигатель был выполнен по схеме с дожиганием окислительного газа, что значительно повысило экономичность двигателя.

Фундаментальная конструкторская школа, созданная академиком В.П. Глушко, позволила добиться уникальных результатов в области создания мощных высоконадежных кислородно-керосиновых ЖРД, опережающих по своим техническим характеристикам американские и европейские разработки.

Одной из важнейших разработок НПО Энергомаш являются двигатели РД-170 и РД-171 для первых ступеней космического комплекса «Энергия – Буран» и РН «Зенит», соответственно. Их разработка стала качественно новым шагом в создании ЖРД. Это

самые мощные в мире четырехкамерные ЖРД с наивысшим уровнем параметров и характеристик для двигателей данного класса, работающие на жидком кислороде и керосине [4].

Первый запуск РН «Зенит» с двигателем РД-171 был осуществлен в апреле 1985 года. В 1987 и 1988 годах выполнено два запуска РН «Энергия» с двигателями РД-170. Эксплуатация двигателя РД-171 продолжилась в пусках РН «Зенит» с плавучего космодрома на экваторе в Тихом океане (программа «Морской старт»). В декабре 2013 года было проведено 1000-е огневое испытание двигателей семейства РД-170/171.

В середине 1990-х годов предприятие вышло на международный рынок. В начале 1996 года проект двухкамерного двигателя РД-180, предложенный НПО Энергомаш, был признан победителем конкурса на разработку и поставку двигателя первой ступени для РН «Атлас» американской компании Локхид Мартин.

Первый полет американской РН «Атлас III» с российским двигателем РД-180 состоялся 24 мая 2000 года, а первый пуск РН «Атлас V» также с двигателем РД-180 - 21 августа 2002 года. В США поставлено более 120 товарных ЖРД, успешно осуществлено 105 пусков РН «Атлас» с РД-180. Это уникальный пример закупки российской высокотехнологичной продукции американскими компаниями.

Разработка кислородно-керосинового ЖРД РД-191 началась в АО «НПО Энергомаш» в конце 1998 года. Этот двигатель предназначен для унифицированного разгонного модуля первой ступени (УРМ-1) нового семейства российских РН «Ангара». Прототип двигателя РД-191 работал без замечаний в трех пусках южнокорейской РН КСЛВ-1. В 2014 году были успешно выполнены первые пуски РН «Ангара 2.1» легкого класса и РН «Ангара 5» тяжелого класса с РД-191. Идет подготовка к первому пуску РН «Ангара А5» с космодрома «Восточный». Ждем с нетерпением скорейшего ввода этих РН в эксплуатацию.

На базе ЖРД РД-191 в НПО Энергомаш по заказу компании Орбитал АТК в очень короткие сроки был разработан и сертифицирован ЖРД РД-181. Контракт был заключен в декабре 2014 года, а уже в мае 2015 года завершена сертификация ЖРД, с поставкой первых товарных двигателей в июне 2015 года. Успешно выполнено 13 пусков американских РН «Антарес 230» для вывода грузового корабля Cygnus к МКС. Напомним, что на первой ступени этой РН работало по два ЖРД РД-181 НПО Энергомаш [5].

Сегодня АО «НПО Энергомаш» является активным игроком на рынке космических услуг. Мы работаем над совершенствованием систем выведения путем повышения их надежности и снижения стоимости доставки различных грузов на орбиты.

Ведутся дальнейшие работы по исследованию схем ЖРД, освоению новых материалов и технологий.

Задача увеличения энергетических характеристик ЖРД подталкивает специалистов предприятия к поиску различных решений, в том числе к модернизации и усовершенствованию эксплуатируемых хорошо зарекомендовавших себя двигателей.

В настоящее время идут работы по созданию новой РН «Союз 5» среднего класса с использованием на первой ступени ЖРД РД-171МВ. Это модификация ЖРД РД-171М, усовершенствованная под требования использования в РН «Союз 5». Впервые конструкторская и технологическая документация на двигатель была разработана в цифровом формате. Уже в 2019 году проведены первые огневые испытания ЖРД. К настоящему времени практически завершена отработка новой модификации ЖРД и идет производство первых ЖРД для летных испытаний.

Семейство кислородно-керосиновых ЖРД разработки НПО Энергомаш, созданных на основе двигателя РД-170, охватывает диапазон тяг от 80 до 1000 тс, что позволяет в минимальные сроки и с наименьшими затратами удовлетворить потребности разработчиков любых перспективных РН: от легких до супертяжелых. Это семейство обеспечивает максимально возможную унификацию технических решений, материалов, производственных процессов и высоких эксплуатационных качеств, что позволяет совершенствовать двигатели семейства в едином русле, минимизируя издержки и обеспечивая высокое качество и надежность.

По программе технического перевооружения производства АО «НПО Энергомаш» ведется активная модернизация всей инженерно-технологической инфраструктуры. Предприятие планомерно осуществляет переход на новые технологии, которые обеспечат снижение трудоемкости и сокращение циклов изготовления нашей продукции. Современное математическое моделирование позволяет приступить к отработке двигателя задолго до его изготовления и огневых испытаний.

Большое внимание в НПО Энергомаш уделяется обеспечению качества продукции. Для этого действует современная сертифицированная система менеджмента качества. В НПО внедряется система контроля качества на основе современных IT-технологий.

Используется электронная база данных, отражающая данные производственной сопроводительной документации. Ведется работа по распространению такой системы на все двигатели НПО Энергомаш.

Однако, все выше перечисленные инновационные преобразования невозможны без наличия высокопрофессиональных, владеющих современными технологиями, кадров.

Обеспечение смены поколений, повышение уровня профессиональной подготовки специалистов предприятия - одно из важнейших направлений деятельности НПО. В рамках подписанных договоров о сотрудничестве, предприятие ведет активную работу по углублению взаимодействия с ведущими космическими вузами страны: Московским авиационным институтом (МАИ) и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В общем количестве новых сотрудников, принятых на Энергомаш за последние годы, существенную долю составляет молодежь. Снизился средний возраст сотрудников лет, что позволяет с надеждой смотреть в завтрашний день.

НПО Энергомаш, созданное В.П. Глушко, по праву находится в авангарде мировой ракетно-космической промышленности, продолжая выпуск высокосоввершенных ЖРД, активно разрабатывая новые конкурентноспособные решения по широкой гамме новой продукции.

### **Литература**

1. Глушко В.П. Путь в ракетной технике. Избранные труды. 1924-1946. М.: Машиностроение, 1977.
2. Арбузов И.А., Судаков В.С., Рахманин В.Ф. ГДЛ. М.: НПО Энергомаш, 2021.
3. НПО Энергомаш. Путь в ракетной технике. Под ред. Каторгина Б.И. М.: Машиностроение, 2004.
4. Трофимов В.Ф. Осуществление мечты. М.: Машиностроение, 2001.
5. Развитие отечественной ракетно-космической науки и техники. Том 6. История отечественных ракетно-космических двигательных установок. М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2018.

**Александров С.В.**  
**Alexandrov S.V.**  
НЦИ «КосмоПоиск»

**В.В. РЮМИН - ПЕРВЫЙ ПОПУЛЯРИЗАТОР ТРУДОВ  
К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО ПО КОСМОНАВТИКЕ.  
К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

**V.V. RYUMIN - THE FIRST POPULARIZER  
OF K.E. TSIOLKOVSKY'S WORKS ON COSMONAUTICS.  
ON THE 150TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH**

**Аннотация.** Статья посвящена популяризатору науки и техники В.В. Рюмину. Описана его деятельность по распространению научно-технических знаний в России и в СССР.

**Ключевые слова:** В.В. Рюмин, К.Э. Циолковский, история науки и техники, история космонавтики.

**Abstract.** The article is devoted to the popularizer of science and technology V.V. Ryumin. His work on the dissemination of scientific and technical knowledge in Russia and the USSR is described.

**Keywords:** V.V. Ryumin, K.E. Tsiolkovsky, history of science and technology, history of astronautics.

Имя Владимира Владимировича Рюмина хорошо известно исследователям творчества К.Э. Циолковского. Про всех остальных долгое время можно было смело сказать, что оно полностью забыто. Сегодня это уже не так, о чем будет сказано ниже. Однако пока реанимирована лишь одна из сторон этой многогранной личности, чья жизнь и деятельность достойны памяти и изучения, особенно в свете насущной необходимости реиндустриализации России после без малого 30-летнего «перестроечного» погрома.

Кроме того, отечественная историческая традиция относит к пионерам ракетостроения и космонавтики создателей ракетных снарядов на дымном порохе. В силу этого, В.В. Рюмин должен был бы стать объектом интереса секции истории ракетно-космической науки и техники даже в том случае, если бы не написал о К.Э. Циолковском ни слова!

Владимир Владимирович Рюмин родился 12 июля (29 июня по старому стилю) 1874 года в селе Большая Усмань Воронежской

губернии, в семье инженера-технолога Владимира Владимировича Рюмина-старшего. Вскоре семья переехала в Москву, затем во входившую в Российскую империю часть Польши, где в 1891 году В.В. Рюмин-младший закончил Лодзинское высшее ремесленное училище (в том же году семья переехала в Николаев). Исследователь Б.М. Цирков, в докладе «О научных связях К.Э. Циолковского и В.В. Рюмина» на 3-х Чтениях К.Э. Циолковского в 1968 году, указал, что Владимир Рюмин был студентом Рижского политехникума, вольнослушателем физико-математического факультета Московского Университета, и наконец, в 1899 году, с отличием окончил Харьковский технологический институт (ХТИ) [1]. Википедия утверждает, что в ХТИ Рюмин поступал «по стопам отца», дважды не прошел по конкурсу, и поступил только с третьего раза [2].

Интересно, что в книге, изданной в 1932 году, В.В. Рюмин тепло вспоминает своего учителя А.К. Погорелко [3, с. 149], не уточняя подробностей. Между тем, Александр Константинович Погорелко – известный в конце XIX в. физик, адъюнкт-профессор Харьковского технологического института, а с 1900 года и до своей смерти в 1912 году – городской голова Харькова [4].

Итак, закончив в 1899 году химическое отделение ХТИ, инженер-технолог В.В. Рюмин направляется в крупный промышленный центр юга России г. Николаев, на... Николаевский ракетный завод! Это второй ракетный завод Российской империи (первый был в Петербурге), основан в 1864 году хорошо известным историкам русским ракетчиком К.И. Константиновым. Правда, с 1890 года завод выпускал преимущественно сигнальные и осветительные ракеты, а в 1911 году производство было и совсем закрыто [5, 6] – совершенствующиеся пушки обогнали ракетные снаряды, и только через 30 лет последние вернулись на поле боя, уже на качественно-новой технической основе.

При всей изученности истории ракетостроения в России XIX века, историки как-то не заостряли внимания на любопытном обстоятельстве. К.И. Константинов был внебрачным, но официально признанным сыном великого князя Константина Павловича (т.е. внуком императора Павла 1-го) [7]. Это, в частности, означает, что весьма многие чиновно-бюрократические «двери» открывались перед ним сами, стоило ему лишь вознамериться войти. Однако даже при этом Константинову потребовалось два года с подписания царского указа до основания завода, и еще семь лет на его постройку (в результате до пуска он не дожил несколько месяцев).

Впрочем, на Ракетном заводе В.В. Рюмин не задержался, благо, в Николаеве инженеры были в дефиците. Он работал на сахарном, химическом, наконец – на одном из судостроительных заводов города. Одновременно преподавал физику, химию, специальные дисциплины в Николаевском техническом железнодорожном училище, а с 1902 года – в Николаевском механико-техническом училище, где и прослужил 15 лет. В 1917 году преподавательскую деятельность он вынужден был оставить – из-за прогрессирующей глухоты.

Чем занимался и как жил Рюмин между 1917 и 1920 годами, мы, к сожалению, сегодня не знаем, и вряд ли скоро сможем установить. С одной стороны, глухой отставной учитель никому — вроде — не мешал, с другой — в отличие, например, от Калуги, через Николаев за это время фронт проходил 4 раза, в городе побывали не только денкинцы, но и немцы.

Оставшиеся годы жизни Владимир Владимирович полностью посвятил тому, благодаря чему и остался в истории – пропаганде научных и технических знаний.

Он активно занимался этим и раньше, и не только как преподаватель. Уже 5 февраля 1892 году в николаевской газете «Южанин» был опубликован его первый рассказ. В 1903 году в Харькове вышел первый печатный научный труд В.В. Рюмина «Краткий очерк главнейших органических соединений». В 1904 году Рюмин создал, редактировал и издавал в Николаеве журнал «Физик-любитель», а с 1910 по 1918 год - журнал «Электричество и жизнь». Названия, однако, не отражали содержания: в обоих случаях это были издания широкого научно-популярного профиля. В 1910-1917 годах Владимир Владимирович выпустил серию брошюр по прикладной технологии различных кустарных и домашних производств: мыловарение, изготовление лампадного масла, красок, бетона, отделочных материалов. Тогда же выходили адресованные самой широкой читательской аудитории книги «Химия вокруг нас», «Техника вокруг нас», «Чудеса техники», «Чудеса современной электротехники», «Беседы о магнетизме» и «Беспроволочный телеграф», «Практическая минералогия», «Популярные научные очерки и рассказы», и одновременно – научные публикации по химии, минералогии, электротехнике, проблемам развития транспорта.

Упомянутый Цирков подсчитал, что – по неполным данным – при жизни В.В. Рюмина опубликовано более 90 статей и повестей беллетристического жанра, более 60 научных и научно-популярных книг и брошюр, многие из которых были переведены на языки народов СССР. Например, в серии «Занимательная наука» вышли:



«Занимательная химия» (в 1926-1936 годах 7 изданий), «Занимательная техника наших дней» (3 издания, последнее — в 1934 году), «Занимательная химия. опыты и развлечения из области химии» (5 изданий, последнее — в 1932 году), «Занимательная электротехника на дому и самодельные электрические приборы» (3 издания, последнее – в 1929 году) «Занимательная электротехника. опыты и развлечения в области электротехники» (3 издания, последнее – в 1929 году), «Занимательная электротехника на стройке» (1937).

Для историка, даже просто для человека, не равнодушного к эпохе первых пятилеток, 1920-1930-х годов, особенно интересна книга «Занимательная техника наших дней». Это некий концентрат творчества В.В. Рюмина, отражение если не всех, то большинства сторон его личности и деятельности. Начиная с того, что в ней автор обьявил прямо-таки манифест и своего творчества, и серии «Занимательная наука»: «<...> Превратить читателя в техника я не собираюсь, но возбудить в нем желание стать техником мне бы хотелось» [3, с. 6].

И далее – две с половиной сотни страниц рассказов о высших (на тот момент) достижениях техники в самых разных областях, от крупнейших машин и заводов, до первых результатов по управлению голосом и получению синтетической пищи (да-да, это в 1932 году, а не в 2024!). Причем, опираясь главным образом, конечно, на литературные (газетно-журнальные) источники, Владимир Владимирович при случае обращался и к своему опыту. Но не только. Рюмин-учитель, Рюмин-коллекционер разъяснял, каким подспорьем в изучении техники могут стать коллекции марок, даже просто изображений технических устройств, если они надлежащим образом оформлены.

И отдельного разговора (выходящего далеко за тему доклада) заслуживает вопрос, почему так и остаются мечтами мечты В.В. Рюмина, высказанные в главе «Эстетика и техника»...

Книгу приятно читать, приятно рассматривать (на 255 страниц – 125 рисунков!) Но постепенно начинаешь и понимать, почему в дальнейшем книги эта и другие подобные публикации не переиздавались. Причин несколько.

Во-первых, книга предельно актуальна, а техника развивается. Причем именно в момент издания и какое-то время после это развитие шло очень быстро. Достижения, рекордные в 1932 году, уже не выглядели таковыми в 1937-м. А, во-вторых - началась подготовка ко Второй Мировой войне, и многие характеристики высших

технических достижений, которые приводил Рюмин, стали секретными. Да и стоимость постройки новых заводов и электростанций в нашей стране на следующие 60 лет получила гриф «совершенно секретно».

В том числе в связи с этим – и это, в-третьих, – начал меняться и язык, стиль научно-популярной литературы в нашей стране. Язык Рюмина отнюдь не прост, но в нем, все же, нет особых литературных изысков, и уж тем более – достаточно искусственных «красивостей». А в советской научно-популярной литературе как раз с конца 1930-х годов начался дрейф в сторону меньшей детальности и конкретики (при сохранении и даже усилении изложения фундаментальных научных основ), и большего именно словотворчества. Процесс дошел до того, что к рубежу 1970-х – 1980-х годов так стали писать уже ВУЗовские учебники! Конечно, тексты Рюмина на этом фоне выглядели диссонансом.

Относительно таких книг В.В. Рюмина, как «Занимательная химия», можно предположить еще одну причину их забвения издателями: опасение «как бы чего не вышло». В ней Владимир Владимирович описывал различные химические опыты, в т. ч. с хлором, водородом и пр. Разумеется, он через слово говорил о технике безопасности, но все же прекрасно знают, как дети читают такие книги! Как бы то ни было, многие десятилетия и эти книги не переиздавались.

Ситуация изменилась в 2011 году, когда «Занимательную химию» тиражом в 5000 экземпляров выпустило издательство «Просвещение» [8]. В 2013 году «Северо-Запад» выпустил «Занимательную электротехнику на дому», в 2016 году «Центрополиграф» - «Занимательную химию» и «Занимательную электротехнику на дому», а издательство «Ленанд» - «Простейшие опыты по химии». В 2018 году АСТ выпустило «Химические опыты», в 2019 году «Юрайт» - «Занимательную электротехнику», в 2020 году «Концептуал» - «Занимательную химию», в 2021 году оно же - «Занимательную электротехнику на дому», в 2022 году «Тион» - «Занимательную химию» и «Занимательную электротехнику на дому». «Занимательную химию» 1936 года издания можно бесплатно скачать в интернете.

Таким образом, можно сказать, что В.В. Рюмин как автор серии «Занимательная наука» в XXI веке вернулся к читателю, хотя бы в какой-то степени. Я думаю, что спрос найдет и переиздание его текстов о современной для него технике.

Владимир Владимирович Рюмин умер 8 апреля 1937 года. На его могильном памятнике в Николаеве написано: «Здесь похоронен

заслуженный педагог, деятель науки, друг и пропагандист идей К.Э. Циолковского В.В. Рюмин. 1874—1937».

### Литература

1. Цирков Б.М. О научных связях К.Э. Циолковского и В.В. Рюмина // Труды Третьих Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (Калуга, 17–18 сентября 1968 г.). Секция «Исследование научного творчества К.Э. Циолковского». – М.: 1969. – С. 46–60.
2. Рюмин Владимир Владимирович // [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD\\_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80\\_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87).
3. Рюмин В.В. Занимательная техника наших дней. – Л., Время, 1932.
4. Погорелко Александр Константинович // [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BA%D0%BE\\_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80\\_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BA%D0%BE_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87).
5. Строили 9 лет, но закрыли спустя 40: история ракетного завода в Николаеве // <https://iz.sytes.net/news/218922-stroili-9-let-no-zakryli-spustya-40-istoriya-raketnogo-zavoda-v-nikolaeve-foto?ysclid=lx525mpis276603615>.
6. В 1862 году Александром II утвержден проект ракетного завода в Николаеве // [https://pochta-polevaya.ru/aboutarmy/calendar/date\\_history/c235803.html](https://pochta-polevaya.ru/aboutarmy/calendar/date_history/c235803.html)
7. Николаевский ракетный завод. Второй в Российской империи завод по производству ракет // [https://vk.com/wall-198888627\\_140?ysclid=lx524pkvx0627554123](https://vk.com/wall-198888627_140?ysclid=lx524pkvx0627554123).
8. <https://www.livelib.ru/book/1000514621-zanimatelnaya-himiya-vladimir-ryumin>.

**Желнина Т.Н.**  
**Zhelnina T.N.**  
Калуга

**В.Н. СОКОЛЬСКИЙ - ИСТОРИК ТЕХНИКИ, ОРГАНИЗАТОР  
НАУКИ, НАСТАВНИК. К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

**V.N. SOKOLSKY - HISTORIAN OF TECHNOLOGY,  
ORGANIZER OF SCIENCE, MENTOR.  
ON THE 100TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH**

**Аннотация.** Прослежены основные этапы жизни, научной и научно-организаторской деятельности В.Н. Сокольского; раскрыт его вклад в развитие отечественной истории ракетной техники и космонавтики, в развитие международного сотрудничества в этой области; показано его участие в подготовке молодых историков. Составлены документальная хроника жизни и научной деятельности Сокольского и полная библиография его научных трудов.

**Ключевые слова:** В.Н. Сокольский, история ракетной техники, история космонавтики, изучение жизни и деятельности К.Э. Циолковского, изучение биографии Ю.В. Кондратюка (А.И. Шаргея), изучение трудов Ф.А. Цандера, история ИИЕТ РАН, международное сотрудничество в области истории космонавтики.

**Abstract.** The main stages of V.N. Sokolsky's life, scientific and scientific organizational activities are traced; his contribution to the development of the national history of rocket technology and cosmonautics, to the development of international cooperation in this field is revealed; his participation in the training of young historians is shown. A documentary chronicle of Sokolsky's life and scientific activities and a complete bibliography of his scientific works have been compiled.

**Keywords:** V.N. Sokolsky, the history of rocket technology, the history of cosmonautics, the study of the life and work of K.E. Tsiolkovsky, the study of the biography of Yu.V. Kondratyuk (A.I. Shargey), the study of the works of F.A. Zander, the history of the IIET RAS, international cooperation in the field of the history of cosmonautics.

Виктор Николаевич Сокольский (09.11.1924 – 02.02.2002) — специалист по истории авиации, ракетной техники и космонавтики, кандидат технических наук (1957); заведующий сектором истории

авиации и космонавтики Института истории естествознания и техники АН СССР<sup>1</sup> (1961-2002); председатель секции истории авиации и космонавтики Советского национального объединения историков естествознания и техники<sup>2</sup> (1963-2002); один из организаторов Комиссии АН СССР/РАН по разработке научного наследия Ф.А. Цандера (1968) и Комиссии по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства (1978); один из организаторов и заместитель председателя Оргкомитетов Чтений, посвященных разработке научного наследия К.Э. Циолковского (1966-2002), Ф.А. Цандера (1970-1987), пионеров освоения космического пространства (1977-2002); организатор и заместитель председателя Оргкомитетов Всесоюзных конференций и Московских международных симпозиумов по истории ракетной техники и космонавтики (1971-2001); член (1963-2002) и сопредседатель Международного комитета по истории ракетной техники и астронавтики<sup>3</sup> (1971-2002); академик Международной академии астронавтики (1969). В 1999 году за многолетнюю плодотворную работу в Российской академии наук и в связи с 275-летием Академии Президиум РАН наградил В.Н. Сокольского орденом Почета. Среди наград В.Н. Сокольского также: медали в память 800-летия города Москвы (1947), За доблестный труд (1956), Ветеран труда (1992); многочисленные советские и российские почетные грамоты и дипломы; почетный диплом Международной академии астронавтики (1983) и медаль Германа Оберта<sup>4</sup> (1994).

Труды Сокольского в науке несут в себе ценный исторический опыт, анализ которого исключительно важен с точки зрения современности. С конца 2000-х годов научная деятельность Сокольского постепенно привлекает все большее внимание исследователей. Литература, в которой в целом описывается его путь в науке или затрагиваются отдельные стороны его деятельности, уже насчитывает несколько публикаций [1-6].

---

<sup>1</sup> С 1991 года Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (ИИЕТ).

<sup>2</sup> С 1992 года Российский национальный комитет по истории и философии науки и техники (Отделение истории естествознания и техники).

<sup>3</sup> При Международной академии астронавтики.

<sup>4</sup> Награда за вклад в распространение идеи космического полета, учрежденная Германским обществом космонавтики имени Г. Оберта.

В настоящей статье автор продолжил изучение научной биографии В.Н. Сокольского. Источниковая база: личное дело Сокольского в архиве ИИЕТ; его опубликованные труды и издания по истории ракетно-космической науки и техники, подготовленные при его участии; документы деятельности Комиссий АН СССР/РАН; программы заседаний и пригласительные билеты на Научные чтения, на конференции и Симпозиумы по истории авиации и космонавтики, проводившиеся под руководством и при участии Сокольского; воспоминания его учеников и коллег<sup>5</sup>; фотодокументы. Впервые в качестве исторических источников привлечены материалы личного архива Виктора Николаевича, переданные после его кончины в фонды Государственного музея истории космонавтики имени К.Э. Циолковского (ГМИК).

### **Начало**

В.Н. Сокольский родился в Тифлисе – столице Закавказской Северной федеративной советской республики. Его родители Ольга Викторовна и Николай Александрович – служащие. После учебы в средней школе (1932-1941) Сокольский поступил в Тбилисский авиационный техникум, который окончил в 1944 году, защитив с оценкой «отлично» диплом на тему «Мастерская панелей каркаса фюзеляжа» и получив квалификацию техника по монтажу самолетов.

В 1945-1953 годах Сокольский учился в Московском авиационном институте имени Серго Орджоникидзе по специальности инженер-механик по самолетостроению. Одновременно занимался активной общественной работой. Член ВЛКСМ с 1940 года и член КПСС с 1948 года, он был в разные годы заместителем секретаря комитета ВЛКСМ МАИ (октябрь 1948-1950 годов), членом райкома Ленинградского РК ВЛКСМ: инструктором/председателем студенческой комиссии (июль 1950 – сентябрь 1952 годов), заведующим отделом пропаганды и агитации (сентябрь 1952 – март 1953 годов).

В сентябре 1953 года на базе Института истории естествознания<sup>6</sup> и Комиссии по истории техники<sup>7</sup> был создан Институт истории естествознания и техники АН СССР. Сокольский поступил в открывшуюся при ИИЕТ аспирантуру и в течение нескольких лет

---

<sup>5</sup> Автор статьи полагается и на собственные воспоминания, сохранившиеся после двадцатилетнего знакомства с Виктором Николаевичем, учебы и работы под его руководством.

<sup>6</sup> С февраля 1944 года работал в составе Отделения истории и философии АН СССР.

<sup>7</sup> В 1944 году создана при Отделении технических наук АН СССР.

работал под научным руководством академика Б.Н. Юрьева над диссертацией на тему «Методы расчета самолета на прочность» (авторский экземпляр текста диссертации с автографом Б.Н. Юрьева и его ранние варианты см. [7; 8]).

### **В.Н. Сокольский и Б.Н. Юрьев**

Научные руководители бывают разные. Большинство ограничивается рекомендациями по написанию диссертации и ее защите. Значительно меньшая часть старается помочь начинающему исследователю стать ученым. Б.Н. Юрьев уделял большое внимание подготовке кадров в области истории техники. Он был не только крупным ученым в области вертолето- и самолетостроения, но и считается основоположником советской истории техники [9, с. 33].

С 1944 года Юрьев являлся Председателем Комиссии АН СССР по истории техники, на которую была возложена задача координировать в нашей стране все усилия в области истории техники. Одновременно с 1949 года Юрьев был первым председателем Комиссии АН СССР по разработке научного наследия К.Э. Циолковского. Выступив в 1949 году с докладами на широко известной сессии Академии наук СССР в Ленинграде и на заседании Президиума Академии наук СССР в Москве, посвященных проблемам истории науки и техники, Юрьев сформулировал две важнейшие задачи в развитии отечественной истории науки и техники. Одна из них заключалась в превращении этой области знания в точную науку, которая требует таких же приемов доказательства, какие имеются и в других науках. Другая задача предполагала изучение, приведение в порядок и публикацию материалов, хранящихся в архивах, с целью устранения тех ошибок, неточностей и искажений, которые были допущены в научной и научно-популярной литературе и массовой печати.

Сокольский воспринял от Юрьева не только понимание важности решения поставленных задач как одной из основ деятельности историка, но и необходимейшие правила научно-исследовательской работы. Которые потом передавал нам. Наипервейшее из них - собирать и учитывать всякую информацию по изучаемой теме, не игнорируя мелочей, и сразу же соотносить ее со всем уже известным знанием в исследуемой области. Новонайденные факты, документы, сведения не могут и не должны существовать вне сложившейся системы научного знания, поэтому недостаточно их только «открыть», важнейшая задача состоит в том, чтобы установить их «генетические» связи в прошлой действительности. «История, – говорил Виктор Николаевич, – это не события, не факты, даже не даты. История – это

связи между событиями, фактами и датами и выводы, сделанные на основе выявленных связей».

Другое правило, которому Виктор Николаевич неукоснительно следовал в своих научных изысканиях, - проверка исторической информации на достоверность. Также критическое осмысление сведений, заимствованных из архивных, патентных либо литературных материалов, точные ссылки на них, склонность к глубоким аналитическим обобщениям, строгое обоснование сделанных заключений – таков метод и стиль научной работы Сокольского, начиная с диссертации.

Виктор Николаевич всегда противился плагиату в науке, публикации непроверенных данных и фактов, подмене научного анализа перечислением сведений и описанием событий, поверхностному изложению событий прошлого, основанному на одном-двух известных документах. В начале 1970-х годов он написал статью «Об основных направлениях исследований в области истории авиационной и ракетно-космической науки и техники». Она очень перекликается с мыслями Б.Н. Юрьева конца 1940-х годов о задачах, стоящих перед историками науки и техники. Основные положения статьи Сокольский использовал в докладах, с которыми выступал в соавторстве с академиком А.А. Благодоровым в 1971 году на XIII Международном конгрессе по истории науки в Москве и восемь лет спустя на VI научных Чтениях памяти Ф.А. Цандера в Днепропетровске [10], а также в соавторстве с академиком Б.В. Раушенбахом в 1995 году на XXIX историческом симпозиуме Международной академии астронавтики в Осло [11]. Актуальность обсуждавшихся в этой статье проблем и сегодня трудно оспорить.

К окончанию аспирантуры в 1956 году Сокольский был уже сложившимся исследователем. Не удивительно, что он был утвержден на должность старшего научного сотрудника в ИИЕТ, который в течение более чем сорока пяти лет оставался его единственным местом работы. После успешной защиты диссертации решением Совета ИИЕТ 11.06.1957 Сокольскому была присуждена ученая степень кандидата технических наук. Так он стал первым в СССР историком авиации с ученой степенью.

В 1957 году в связи с вступлением Советского Союза в Международный союз истории, философии и науки, в системе АН СССР, на базе ИИЕТ было создано Советское национальное объединение историков естествознания и техники, в состав которого были включены все лица и организации, ведущие исследования в данной области. По разным направлениям было создано около 20



тематических секций. Секция авиационной науки и техники была организована 16.10.1957. Ее председателем был избран профессор ВВИА им. Н.Е. Жуковского С.Г. Козлов (1894-1964), а заместителем председателя - Сокольский. С 1963 года он уже возглавлял секцию, которая получила название «секция истории авиации и космонавтики» и выросла под его руководством в удивительный по творческой отдаче общественный коллектив, существенно превосходивший другие подобные историко-научные образования по количеству, разнообразию и содержательности осуществленных ею мероприятий и публикаций [1]. Виктор Николаевич был признанным и бессменным лидером секции, а она – его любимым детищем.

### **Историк**

Первые шаги Сокольского в науке совпали с началом космической эры и новым – мощным - всплеском общественного интереса к истории ракетной техники и космонавтики. Между тем эта отрасль историко-технических знаний почти не была разработана. Скорее всего именно поэтому Сокольский избрал областью своих дальнейших научных изысканий именно ее – его всегда влекли вопросы и проблемы малоизученные, спорные, недоказанные.

Основной предмет научных исследований Сокольского – история отечественной ракетной техники и теоретической космонавтики, которую он изучал в двух аспектах. С одной стороны, он стремился восстановить общую картину развития в нашей стране идеи освоения космоса и технических предложений по ее осуществлению. С другой стороны, Виктор Николаевич сосредоточился на детальном изучении научного наследия отдельных российских и советских ученых, инженеров, техников, изобретателей с целью показать личный вклад каждого из них в разработку основ ракетной техники и теории космического полета. Наиболее ранняя публикация Сокольского по этой теме – краткий биографический очерк о Циолковском - относится к 1958 году [12]. Два года спустя Виктор Николаевич опубликовал большую обобщающую работу «Краткий очерк развития ракетных исследований в СССР» [13]. Обе эти публикации – творческий задел на будущее. Отгалкиваясь от него, дополняя и развивая, в 1960-е годы Виктор Николаевич выполнил огромный объем исследований, которые во всей полноте опубликованных и архивных документальных источников раскрыли основополагающий вклад отечественных творцов науки и техники в создание теории космического полета и в развитие ракетостроения.

Одно из таких исследований – биографический очерк о Циолковском [14], который открыл новую страницу в историографии

жизни и деятельности основоположника теоретической космонавтики. Впервые в литературе Сокольский, основываясь на неизвестных ранее архивных материалах, предпринял попытку проследить *развитие* работ ученого по ракетной технике, реактивной авиации и космонавтике. Виктор Николаевич ввел в научный оборот ряд рукописей Циолковского, которые позволяли по-новому взглянуть на ранний период исследований ученого в области ракетно-космической техники и реактивной авиации. Наибольшую известность получили опубликованные Сокольским впервые рисунок космической ракеты на жидком топливе и список формул с надписью «Дата 10 мая 1897 г.» - редчайшие, чудом сохранившиеся страницы рукописей Циолковского, отразившие историю его работы «Исследование мировых пространств реактивными приборами» - первого в мире научного труда по теоретической космонавтике. Опираясь на список формул, Сокольский предложил считать датой выведения Циолковским основного уравнения ракетодинамики 10.05.1897. В начале 1960-х годов это предложение было существенным шагом вперед в датировке «формулы Циолковского», которую традиционно датировали 1903 годом. Сегодня мы можем внести уточнение в рассуждения Сокольского, так как есть все основания считать, что расчеты формулы скорости движения ракеты Циолковский выполнил не позднее ноября 1896 года (подробнее [15]).

В уточнении нуждается и интерпретация Сокольским выдвинутой Циолковским идеи группового полета ракетных аппаратов, в процессе которого один из аппаратов дозаправляется топливом от других и в конце концов развивает космическую скорость. Вслед за А.А. Космодемьянским В.Н. Сокольский считал, что метод переливания топлива из аппарата в аппарат Циолковский намеревался применить на многоступенчатой ракете с продольным соединением ступеней. В 1983 году Виктор Николаевич внимательно выслушал мои доводы о том, что на самом деле Циолковский собирался отправлять в космос эскадры ракетных самолетов и использовать их в качестве заправщиков для того самолета, который должен был выйти на околоземную орбиту. В этих «эскадрах ракетопланов» Циолковский видел альтернативу составным ракетам. Сокольский признал мои выводы убедительными и опубликовал мою статью [16], опровергавшую распространенное неверное толкование одной из важнейших идей Циолковского.

Смена, обновление знаний – процесс в науке естественный. В истории навсегда останется главная заслуга Виктора Николаевича - он был первым, кто после Б.Н. Воробьева поднял новые пласты архивных

материалов Циолковского и изучил их с целью более глубокого понимания особенностей работы ученого в разные периоды творчества. О том, насколько Сокольский был погружен в изучение документальной основы биографии Циолковского, свидетельствует количество страниц – около трехсот восьмидесяти - сохранившихся подготовительных материалов [17].

Сокольский много работал в архивах и как никто другой понимал важность сосредоточения творческого наследия Циолковского в одном архивохранилище. В январе 1961 года он готовил проект письма президента АН СССР академика А.Н. Несмеянова в Совет министров СССР с просьбой принять постановление о передаче материалов о жизни и деятельности Циолковского, отложившихся в двенадцати архивах, в Московское отделение Архива Академии наук СССР. Конечно, эта инициатива не могла быть поддержана даже в то время. А вот создание и издание единого сводного указателя материалов к биографии Циолковского, отложившихся во всех отечественных и зарубежных архивах – дело важное и нужное. И давно назревшее. Когда-то мы его начинали, но с кончиной Виктора Николаевича его продолжение стало невозможным.

Сокольский внес заметный вклад в изучение научной деятельности других пионеров космонавтики. На основе малоизвестных архивных документов он восполнил существенные пробелы в биографиях С.С. Неждановского, Ф.А. Цандера и Ю.В. Кондратюка. Его труды «Работы отечественных ученых - пионеров ракетной техники (исторический очерк)» [18] и «Работы отечественных ученых по созданию основ теории межпланетных сообщений» [19] – первые в литературе обобщающие исследования по названной теме.

Надо сказать, что стимулом к написанию этих трудов для Сокольского служил не только академический интерес, но и самая насущная общественная необходимость. Сегодня мало кто знает, что в начале 1960-х годов в кругах историков кипели бурные страсти вокруг вопросов о наследии пионеров космонавтики и их взаимоотношениях. Вызваны они были письмами А.Ф. Цандер и А.Л. Чижевского в различные организации. О вопросах, поднятых в письмах, дает представление цитата из протокола совещания сотрудников ИИЕТ: «За последние месяцы в ряд организаций поступали письма и заявления дочери Ф.А. Цандера и профессора А.Л. Чижевского, авторы которых ставят ряд вопросов, касающихся истории ракетной техники. Хотя большинство этих писем написаны в таких выражениях, что на них можно было бы не обращать внимания, однако вопросы, затрагиваемые в этих заявлениях, являются настолько важными и

принципиальными, что мы сочли необходимым обсудить их на этом совещании и придти к общему мнению. Авторы упомянутых писем прежде всего утверждают, что Ю.В. Кондратюк не имеет никакого отношения к книге «Завоевание межпланетных пространств», автором которой, по их мнению, якобы является Владимир Петрович Ветчинкин. Далее в письмах высказываются утверждения, что В.П. Ветчинкин «ненавидел К.Э. Циолковского и Ф.А. Цандера и мечтал об их исчезновении как конкурентов», «боролся с ними, т. к. не хотел, чтобы в нашей стране развивалась реактивная техника, что «книга Ю.В. Кондратюка была направлена против К.Э. Циолковского и Ф.А. Цандера и наносила вред развитию ракетной техники в СССР» и тому подобные высказывания» [20].

Во многом претензии А.Ф. Цандер и А.Л. Чижевского объяснялись налетом тайны вокруг имени Ю.В. Кондратюка, поскольку публиковавшиеся биографические сведения о нем были очень неполными, разрозненными и противоречивыми. Виктор Николаевич занимался изучением биографии Кондратюка много и тщательно, вплоть до проведения почерковедческой экспертизы имевшихся в распоряжении документов. Не позднее ноября 1963 года он уже установил настоящее имя «Кондратюка» – Александр Игнатьевич Шаргей, – дату и место рождения Шаргея. Виктор Николаевич рассказывал, каких невероятных усилий стоило разобраться в причинах, побудивших Шаргея в 1921 году сменить имя, и каким образом у него оказались документы Кондратюка. Широкой огласке ответы на эти вопросы были преданы в начале 1990-х годов – тогда факт службы А.И. Шаргея в Добровольческой армии уже не казался изъясном его биографии. При этом имя Сокольского даже не упоминалось, хотя именно он первым провел всю необходимую поисковую работу.

В 1970-е годы, когда стали доступны иностранные источники о жизни и деятельности зарубежных пионеров космонавтики, Сокольский написал еще несколько работ, в которых содержался анализ малоизвестных в то время советским историкам трудов Г. Гансвиндта [21], Р. Годдарда [22] и В. Гомана (в соавторстве с А.А. Космодемьянским [23]).

Изучение научного наследия отдельных ученых для Сокольского не было самоцелью. Выполненный им в 1960-х - начале 1970-х годов сравнительный историко-технический анализ трудов отечественных и зарубежных пионеров ракетной техники и космонавтики стал первым в мировой литературе исследованием подобного рода. Он значительно способствовал разрешению ряда вопросов приоритетного характера.

Текст этой работы сохранился в русскоязычной машинописи [24] и англоязычной публикации [25]: Виктор Николаевич выступал с ней в октябре 1971 года на V историческом симпозиуме Международной академии астронавтики в Брюсселе.

Трудно переоценить еще одно научное достижение В.Н. Сокольского - очерк развития мировой ракетно-космической науки и техники, который он опубликовал в 1975 году [26] и со значительными дополнениями в 1983 году [27] и в 1998 году [28]. Вполне естественно, что некоторые сведения, приводившиеся в очерке, были уже известны в литературе, но Виктор Николаевич подверг их тщательной проверке, внося ясность в спорные и запутанные вопросы, например, в вопрос о том, когда и где впервые стали применяться ракеты. А главное, это был обобщающий труд, в котором прослеживалась история ракетно-космической техники на протяжении одиннадцати столетий. Подготовительные материалы к нему насчитывают не менее 1170 страниц автографов и машинописей [29].

И наконец, Сокольский является автором уникального историко-технического труда «Ракеты на твердом топливе в России», в котором воссоздана отечественная история пороховых ракет до начала XX века и аналогов которому до сих пор нет. Ее сокращенный вариант был опубликован в 1962 году [30]. Год спустя она вышла отдельной книгой [31]. Сохранившиеся материалы к ней [32], может быть, помогут заинтересованным исследователям восстановить ее творческую историю.

В.Н. Сокольский был ученым с мировым именем. Он неоднократно выступал с докладами на самых престижных международных научных форумах – Симпозиумах по истории космонавтики, организовывавшихся Международной академией астронавтики проводившихся в рамках Международных астронавтических конгрессов (1968, Нью-Йорк; 1969, Мар де Плата; 1971, Брюссель; 1995, Осло; 1996, Пекин; 1997, Турин), а также Международных конгрессах по истории науки (1967, Вроцлав; 1968, Париж; 1971, Москва; 1974, Токио-Киото).

#### **Редактор-издатель**

Редакционно-издательская деятельность В.Н. Сокольского началась весной 1960 года, когда он приступил к работе над томом избранных трудов Циолковского (совместно с Б.Н. Воробьевым, ученым секретарем Комиссии АН СССР по разработке научного наследия К.Э. Циолковского). С 1935 года - после смерти основоположника теоретической космонавтики - его научные, научно-популярные и научно-фантастические произведения издавались неоднократно в

составе сборников и отдельными брошюрами, а также на страницах Собрания сочинений (в 1951-1959 годах вышли три тома научных работ Циолковского по аэродинамике, авиации, космонавтике и воздухоплаванию).

Однако с конца 1950-х годов остро ощущалась потребность в новых изданиях: во-первых, возрос интерес общественности к трудам и личности Циолковского, во-вторых, прежние издания его работ не вполне соответствовали требованиям археографии - авторские тексты воспроизводились в них с искажениями, выбор источника основного текста не основывался на изучении его истории, научно-справочный аппарат отсутствовал или был предельно кратким и содержал зачастую ошибочные сведения. Сокольский впервые в практике издания трудов Циолковского обратил внимание на необходимость научного решения текстологических проблем. Впервые источник основного текста произведения он выбирал на основе всей совокупности сохранившихся публикаций и рукописей, руководствуясь четким принципом - брать за основу последнюю прижизненную публикацию, приводя разночтения между ней и рукописями в примечаниях.

Подготовленные Сокольским к изданию сборники трудов Циолковского «Избранные труды» (1962) и «Реактивные летательные аппараты» (1964) отличались высоким археографическим уровнем, качество передачи авторских текстов в целом не вызывало нареканий (в обоих сборниках всего несколько опечаток и не совсем точных чтений авторских рукописей «Свободное пространство» и «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (1911-1912).

В 1968 году Сокольский подготовил англоязычное издание сборника «Избранные труды» Циолковского, которое в значительной степени способствовало детальному знакомству зарубежных исследователей с основными научными работами ученого. В начале 1990-х годов Виктор Николаевич основал серию «Публикуется впервые» (первоначальное название «Неопубликованные рукописи выдающихся ученых»), в которой отдельными брошюрами «Гений среди людей» и «Суд космоса» были изданы три философские работы Циолковского. К сожалению, из-за отсутствия источников финансирования серия на этом прекратила существование. Но подготовка к изданию философских сочинений Циолковского продолжалась. Виктор Николаевич сам оплатил машинописные работы, и рукопись книги «Космическая философия» объемом 30 печатных листов в 1993 году была готова для передачи в издательство.

Увидеть свет ей суждено было только в 2001 году. Имя Сокольского отсутствует среди составителей и редакторов этого сборника произведений Циолковского, но в его судьбе он сыграл немалую роль. И, наконец, без участия Сокольского в 1999 году не была бы издана отдельной брошюрой краткая хроника жизни и деятельности Циолковского. Он инициировал работу над ней, первым прочитал ее в рукописи, сдал заказ в типографию и финансировал его выполнение. Виктор Николаевич всегда прилагал огромные усилия, чтобы ввести в научный и культурный оборот как можно больше материалов о жизни и деятельности Циолковского. Вместе с тем он придерживался принципа неприкосновенности авторского текста и не мог поступиться им ни при каких условиях. На рубеже 1960-х - 1970-х годов Сокольский отказался издавать пятый том Собрания сочинений Циолковского, сочтя невозможным подчиниться требованию Идеологической комиссии ЦК КПСС публиковать автобиографии ученого с купюрами.

В 1964-1977 годах под руководством и при участии Сокольского были подготовлены к изданию три тома избранных трудов Н.И. Кибальчича, К.Э. Циолковского, Ф.А. Цандера, Ю.В. Кондратюка, В.П. Ветчинкина, В.П. Глушко, С.П. Королева, М.К. Тихонравова, Г. Гансвиндта, Р. Годдарда, Р. Эсно-Пельтри, Г. Оберта, В. Гомана (серия «Пионеры ракетной техники»). И сегодня они являются наиболее авторитетными изданиями научных работ названных ученых.

Особое направление редакционно-издательской деятельности Сокольского - публикация работ историков авиации, ракетной техники и космонавтики. Он не только координировал подготовку к изданию материалов Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Ф.А. Цандера, С.П. Королева и других пионеров освоения космического пространства (с 1966 г.). Издав в 1964 году сборник «Из истории ракетной техники», Сокольский в том же году основал научный сборник «Из истории авиации и космонавтики» (76 выпусков в 1964-2001 годах), за которым последовали сборники «Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической техники» (7 выпусков в 1981-1989 годах) и «Из истории ракетно-космической науки и техники» (3 выпуска в 1997-1999 годах). Он являлся их бессменным редактором-составителем. На страницах этих сборников было опубликовано более полутора тысяч статей, содержащих результаты историко-технических исследований. Виктор Николаевич привлекал к сотрудничеству ученых, специалистов-историков, известных журналистов и писателей. Авторами многих статей были ветераны

воздухоплавания, авиации, ракетной техники и космонавтики - непосредственные участники и очевидцы исторических событий.

Важное место в сборниках занимали материалы, посвященные памяти выдающихся ученых и знаменательным историческим событиям, и библиографические перечни. Велика заслуга Сокольского в публикации материалов I, II и III Международных симпозиумов по истории астронавтики и ракетной техники (Белград, Нью-Йорк, Мардель-Плата, 1967-1969), а также XIII Международного конгресса по истории науки (секция «История авиационной, ракетной и космической науки и техники») (Москва, 1971). Благодаря Виктору Николаевичу статьи ведущих зарубежных историков в русскоязычном переводе стали доступны отечественным специалистам. Можно только удивляться, как один человек сумел привести в движение мощнейший информационный поток в области истории авиации, ракетной техники и космонавтики.

### **Организатор научных форумов**

Трудно переоценить заслуги Сокольского как талантливого организатора научных форумов. Он был одним из инициаторов, организаторов и руководителей Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей выдающихся отечественных ученых - К.Э. Циолковского (с 1966 года), Ф.А. Цандера (с 1970 года), С.П. Королева и других пионеров освоения космического пространства (с 1977 года).

По инициативе Сокольского в Москве с конца 1970-х годов регулярно (как правило, каждые два года) проводились Всесоюзные конференции и Московские Международные симпозиумы по истории авиации и космонавтики. Виктор Николаевич координировал и направлял всю огромную работу по их подготовке и проведению, начиная с составления программы пленарных и тематических заседаний, рассылки пригласительных билетов, организации пребывания в Москве приглашенных зарубежных участников симпозиума и заканчивая публикацией тезисов или полных текстов наиболее интересных и содержательных докладов. Благодаря Сокольскому в течение почти четверти века Московские симпозиумы входили в число самых представительных и авторитетных международных научных форумов, объединявших историков авиации, ракетной техники и космонавтики разных стран. Виктор Николаевич успел провести тринадцать (!) симпозиумов. Первый из них, посвященный 20-летию космической эры, состоялся 19-21 сентября 1977 года. Последний, приуроченный к 40-летию первого полета



человека в космическое пространство, прошел 4-9 июня 2001 года (за восемь месяцев до кончины В.Н. Сокольского).

Особый след в памяти участников оставил III Международный симпозиум, посвященный 25-летию космической эры, который состоялся 20-23 сентября 1982 года в Москве и Ленинграде. В его работе приняли участие свыше 900 человек, в том числе видные ученые, специалисты в области истории ракетно-космической науки и техники, ветераны отечественного ракетостроения, летчики-космонавты СССР, ЧССР, ПНР, ГДР, ВНР, НБР, МНР, СРР. Среди участников симпозиума были легенды отечественной космонавтики - академик В.П. Глушко и член-корреспондент АН СССР Б.В. Раушенбах. На приглашение В.Н. Сокольского приехать в Москву откликнулись один из первых теоретиков космонавтики Г. Оберт (в то время ему шел 89-й год), президент Международной академии астронавтики Ч.С. Дрейпер, председатель Международного комитета по истории ракетной техники и астронавтики Ф. Дюрант, почетный директор Международного института космического права Е. Гэлловей.

Московские симпозиумы были яркими, запоминающимися событиями в научной жизни историков авиации, ракетной техники и космонавтики. После смерти В.Н. Сокольского они стали достоянием истории.

### **Научные связи**

В.Н. Сокольский поддерживал научные контакты со многими известными советскими учеными А.А. Благонравовым, Б.Н. Воробьевым, А.А. Космодемьянским, Т.М. Мелькумовым, В.П. Мишиным, Ю.А. Мозжориним, Б.В. Раушенбахом. Особое значение Виктор Николаевич придавал международному научному сотрудничеству. Он писал по поводу научных связей ученых разных стран: «До последнего времени историки авиационной и ракетной техники, как правило, либо ограничивались разработкой исторических событий, происходивших в их собственной стране, либо недостаточно критически основывались на материалах, уже опубликованных в трудах зарубежных авторов, допуская при этом более или менее значительные погрешности, причиной которых являлось недостаточно глубокое знакомство с историей техники других стран. На первый взгляд, такое положение кажется естественным и трудно преодолимым, ибо в большинстве случаев архивы других стран трудно доступны для иностранных исследователей, однако опыт других областей исторической науки показывает, что при правильной организации международного научного сотрудничества это

затруднение может быть в значительной степени преодолено» [10, с. 12].

И действительно, научные связи, установившиеся между Сокольским и его зарубежными коллегами, были очень плодотворными, потому что основывались на взаимном уважении и готовности делиться друг с другом историческими материалами. Виктор Николаевич не только опубликовал в русскоязычном переводе десятки работ западных ученых и сделал их доступными отечественным исследователям. Он передал своим коллегам на Западе все основные публикации советских историков авиации и космонавтики, получив в ответ многочисленные иностранные издания и архивные документы. Сокольский не только использовал их в своей работе, но и щедро делился ими со в семи заинтересованными исследователями. Где-то теперь эти редкие книги из знаменитого «шкафа Сокольского» в помещении сектора истории авиации и космонавтики в ИИЕТ в Старопанском переулке?

В.Н. Сокольский поддерживал научные связи с Ч. Дрейпером, Ф.К. Дюрантом, И. Зенгер-Бредт, И. Эссерс. В октябре 1970 года в Констанце (ФРГ), где проходил XXI Международный астронавтический конгресс, Виктор Николаевич познакомился с Г. Обертом и его семьей. Очень скоро знакомство переросло в тесное и продолжительное сотрудничество. Сегодня мало кто знает, что в 1973 году и 1987 году Виктор Николаевич по личному приглашению Германа Оберта гостил у него в Фойхте. Нередко они встречались на Международных астронавтических конгрессах. В 1982 году Оберт по приглашению Сокольского приезжал в Москву на III Международный симпозиум по истории авиации и космонавтики. Летом 1994 года по приглашению дочери Оберта Эрны Рот-Оберт В.Н. Сокольский снова провел неделю в Фойхте, где принял участие в торжествах по случаю 100-летия со дня рождения ученого.

### **Наставник**

У Виктора Николаевича не было своих аспирантов. Каждый аспирант сектора истории авиации и космонавтики в ИИЕТ – Сокольский возглавлял его с 1961 года - имел своего официального научного руководителя. Но все аспиранты, прикрепленные в разные годы к сектору Сокольского, всегда могли рассчитывать на его помощь и поддержку в вопросах, связанных с диссертационной работой. Да и в других вопросах тоже. Но главное, как когда-то Б.Н. Юрьев помогал молодому Сокольскому осваивать азы истории техники, так и Виктор Николаевич старался знакомить нас со специфическими особенностями исторической науки. От него мы

перенимали методику профессиональной оценки событий в истории науки и техники, правила пользования основными историческими источниками, системный подход к разработке историко-научных, историко-технических проблем. Пройти «школу Сокольского» было большой личной удачей и подарком судьбы.

Безупречно владея техникой, методикой научной работы, Виктор Николаевич относился к исследовательской деятельности, скорее, романтично и эмоционально, чем рационально. Он вдохновлялся возможностями исследования, а не собственными возможностями. При всех огромных научных связях и контактах избегал коллективной работы, был независим («гулял сам по себе»).

Рано определившись в жизни с профессиональным занятием наукой, он следовал твердому курсу, не поддаваясь сомнениям и страхам. Таких не ломает неудача и не развращает успех.

Несмотря на достаточно высокое положение в научном сообществе, Виктор Николаевич оставался простым и доступным человеком, которого никакая лесть не была способна превратить в «важную персону».

Сокольский - идеальный руководитель. Ему был свойствен чуткий и доброжелательный стиль руководства. Отличался уважением к интересам других, отсутствием ослепляющего предубеждения к людям. Был мудр, сочувствовал человеческим слабостям, но его доброта не доходила до потакания нарушениям дисциплины, недобросовестности в работе.

И, наконец, Виктор Николаевич - человек яркого личного обаяния. Обязательность, скромность, доброта, душевное благородство, деликатность, отзывчивость, надежность – такими словами можно охарактеризовать его личные качества.

### **След в науке**

С точки зрения типологии ученых В.Н. Сокольского с полным основанием можно отнести к пионерам и классикам исторической науки. Он первый в нашей стране начал систематически изучать историю ракетной техники и космонавтики и научные биографии ее творцов.

Труды Сокольского на поприще науке как исследователя, публикатора, организатора были настолько масштабными и многосторонними, что всегда невольно возникал вопрос: как это под силу одному человеку? Наверное, это возможно только в одном случае, когда работа становится смыслом жизни. История ракетной техники и космонавтики стала делом жизни Сокольского. А он старался разделить его с другими. Соглашусь с моими коллегами:

«В.Н. Сокольский, безусловно, был незаурядным организационным ядром отечественной истории авиации и космонавтики, соединявшим множество людей самого разного уровня: студентов, сотрудников авиационных и космических предприятий и музеев, ветеранов ракетно-космической техники, выдающихся летчиков, космонавтов, академиков. Он объединял всех, кто интересовался историей создания авиационно-космической техники или был причастен к осуществлению этого выдающегося достижения человечества XX в.» [4, с. 230].

Обычно история ассоциируется с «лавкой древностей». А при Сокольском история превратилась в мощный полноводный информационный поток – в постоянном движении и обновлении.

### **Литература**

1. Соколова С.А., Бирюков Ю.В. К 50-летию создания при ИИЕТ АН СССР секции истории авиации и космонавтики, руководимой канд. техн. наук В. Н. Сокольским // К.Э. Циолковский и современность. Материалы XLII Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга, 2007. С. 45-46.
2. Илизаров С.С. Отечественная историография истории науки и техники. Хроника: 1901-2011. М., Янус-К, 2012. С. 113, 121, 142, 155, 158, 159, 162, 178, 208, 226, 242, 245, 278, 307, 318, 338.
3. Желнина Т.Н. Сокольский (1924-2002). К 90-летию со дня рождения. Калуга, изд. автора, 2014.
4. Желтова Е.Л., Соболев Д.А. В.Н. Сокольский – основоположник историко-космических исследований в ИИЕТ РАН // Вопросы истории естествознания и техники. 2022. Т. 43. № 2. С. 219-230.
5. Желтова Е.Л. ИИЕТ у истоков международного сотрудничества в области истории космонавтики (1960-е - 1980-е годы) // Труды Международной конференции Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН, посвященной 90-летию Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. Москва, 28.03.2022-01.04.2022. М., Янус-К, 2022. С. 352-354.
6. Skoog A. Ingemar. In Memoriam: Victor Nikolaevich Sokolsky (1924-2002) // American Astronautical Society (ASS) History Series. Vol. 30. San Diego 2009. S. 325-326.
7. Сокольский В. Н. Развитие методов расчета самолета на прочность. *Диссертация*. <1957> // Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского. 247 с.

8. Сокольский В. Н. Развитие методов расчета самолета на прочность. *Диссертация. Ранние варианты. <1953-1957>* // Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского. 199 с.
9. Заседание, посвященное 90-летию со дня рождения академика Б.Н. Юрьева // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 39. М., ИИЕТ АН СССР, 1980. С. 3-34.
10. Благоднаров А.А., Сокольский В.Н. Об основных направлениях исследований в области истории авиационной и ракетно-космической науки и техники // Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники. М., Наука, 1981. С. 5—15.
11. Rauschenbach B.V., Sokolsky V.N. Main Fields of the Current Studies on the History of Astronautics and Rocketry // History of Rocketry and Astronautics. Proceeding of the Twenty-Eighth and Twenty-Ninth History Symposia of the International Academy of Astronautics. Jerusalem, Israel, 1994. Oslo, Norway, 1995. AAS History Series, Volume 23. A Supplement to Advances in the Astronautical Sciences. IAA History Symposia, Volume 15. An American Astronautical Society Publication, San Diego, 2001. P. 225-266.
12. Сокольский В.Н. Константин Эдуардович Циолковский // Вопросы истории естествознания и техники. 1958. Вып. 6. С. 24-29.
13. Сокольский В.Н. Краткий очерк развития ракетных исследований в СССР // Труды ИИЕТ АН СССР. М., 1960. Т. 29. С. 3-49.
14. Сокольский В.Н. Константин Эдуардович Циолковский (краткая научная биография) // Циолковский К.Э. Избранные труды. М., Изд-во Академии наук СССР, 1962. С. 461-483.
15. Творческая история работы К. Э. Циолковского "Исследование мировых пространств реактивными приборами" (1903) (к 110-летию со времени издания) // К. Э. Циолковский и инновационное развитие космонавтики. Материалы XLVIII Научных Чтений памяти К. Э. Циолковского. Калуга, Изд-во «Эйдос», 2013. С. 25-28.
16. Желнина Т.Н. К вопросу об идее ракетных эскадр К.Э. Циолковского // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 47. М., 1983. С. 146-157.
17. Сокольский В. Н. <Выписки из литературы и исторических источников о жизни и деятельности К. Э. Циолковского. Списки работ К. Э. Циолковского. Материалы к биографическому очерку о К. Э. Циолковском>. <1958-1962> // Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского.
18. Сокольский В.Н. Работы отечественных ученых - пионеров ракетной техники (исторический очерк) // Пионеры ракетной техники.

Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избранные труды. М., Наука, 1964. С. 601-633.

19. Сокольский В.Н. Работы отечественных ученых по созданию основ теории межпланетных сообщений // Из истории ракетной техники. М., Наука, 1964. С. 33-55.

20. Протокол совещания по рассмотрению писем А.Ф. Цандер и А.Л. Чижевского. <15>.05.1963 // Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского.

21. Сокольский В.Н. О работах Г. Гансвиндта над решением проблемы космического полета // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 20. М., 1973. С. 61-82.

22. Сокольский В.Н. Работы Р.Х. Годдарда в области теоретической космонавтики // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 31. М., 1978. С. 96-124.

23. Космодемьянский А.А., Сокольский В.Н. Вальтер Гоман (к 100-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 1980. № 3. С. 39—41.

24. Сокольский В. Н. Сравнительный анализ проектов и осуществленных конструкций реактивных летательных аппаратов, предложенных в 19-м – начале 20-го веков. <1960-1964> // Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского. 194 с.

25. Sokolsky V.N. Comparative Analysis of the Designs and Implementation of Vehicles Based on Reactive Propulsion Proposed during the Nineteenth and Beginning of the Twentieth Centuries // NASA Conference Publication 2014. Essays on the History of Rocketry and Astronautics. Proceedings of the Third Through the Sixth History Symposia of the International Academy of Astronautics. Volume 2. 1977. P. 3-24.

26. Сокольский В.Н. Краткий очерк развития ракетной техники (до конца Второй мировой войны) // Из истории авиации и космонавтики. Вып. 26. М., 1975. С. 113-144.

27. Сокольский В.Н. Основные направления развития ракетно-космической науки и техники (до середины 40-х годов XX в.) // Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники. Вып. 2. М., Наука, 1983. С. 140-201.

28. Сокольский В.Н. Основные направления развития ракетной техники первой половины XX столетия (до 1945 г.) // Из истории ракетно-космической науки и техники. Вып. 2. М., ИИЕТ РАН, 1998. С. 123-164.

29. Сокольский В. Н. <Выписки из архивных источников и заметки по истории ракетной техники>. <Конец 1950-х - 1960-е/1970-е годы> //: Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского.

30. Сокольский В.Н. Из истории пороховых ракет (XVII-XIX вв.) // Труды ИИЕТ АН СССР. М., 1962. Т. 45. С. 48-106.
31. Сокольский В.Н. Ракеты на твердом топливе в России. М., Изд-во Академии наук СССР, 1963.
32. Сокольский В.Н. <Материалы к книге «Ракеты на твердом топливе в России»>. <1960-1963> // Фонды ГМИК. Личный архив В.Н. Сокольского. 308 с.

УДК 930.2

eLIBRARY.RU: 03.29.00

**Кутузова Л.А.**

**Kutuzova L.A.**

главный хранитель

ГМИК им. К.Э. Циолковского, г. Калуга

**ПОИСКИ И НАХОДКИ. НОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ  
К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО В ФОНДАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО  
МУЗЕЯ ИСТОРИИ КОСМОНАВТИКИ  
ИМЕНИ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО**

**SEARCHES AND FINDINGS. NEW DOCUMENTS OF  
K.E. TSIOLKOVSKY IN THE FUNDS OF STATE MUSEUM OF  
THE HISTORY OF COSMONAUTICS NAMED AFTER  
K.E. TSIOLKOVSKY**

**Аннотация.** Комплектование музейного собрания является одним из основополагающих направлений деятельности любого музея. Основу музейного собрания Государственного музея истории космонавтики имени К.Э. Циолковского (ГМИК) составляют экспонаты, рассказывающие о жизни и научном творчестве К.Э. Циолковского. На всех этапах работы музея его сотрудники вели поиски предметов, связанных с жизнью и творчеством ученого. Работа продолжается до сих пор. Наш рассказ о находках этого года.

**Ключевые слова:** Комплектование, музейное собрание, К.Э. Циолковский, Ю.М. Курочкин, документы.

**Abstract.** Acquisition of museum collection is one of fundamental areas of activity of any museum. The basis of museum collection of State Museum of history of cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky is made up of exhibits related to life and scientific work of K.E. Tsiolkovsky. At all stages of museum's work its employees searched for items related to life

and work of scientist. The work is still ongoing. Our story about this year's findings.

**Keywords:** Acquisition, museum collection, K.E. Tsiolkovsky, Y.M. Kurochkin, documents.

Истоки музейной коллекции ГМИК восходят к 19 сентября 1936 года, к моменту открытия Мемориального Дома-музея К.Э. Циолковского, экспозиция которого была создана на базе сохранившейся бытовой обстановки дома, в котором ученый прожил с 1904 года по ноябрь 1933 года. С этого времени началось формирование мемориальной коллекции К.Э. Циолковского.

После Архива РАН музей является вторым по значению хранилищем наследия ученого, причем, если в Архиве сосредоточены только письменные источники и небольшая часть фотодокументов, связанных с жизнью и творчеством Циолковского, то в музее представлены все виды источников, которые взаимосвязаны между собой и потому дополняют друг друга, удостоверяют и уточняют. Комплектование этой части музейного собрания продолжается до сих пор. И чем дальше уходит от нас время Циолковского, тем все большую значимость и ценность приобретают материалы, связанные с его жизнью и творчеством.

В апреле 2024 года - новое пополнение: материалы о Циолковском, отложившиеся в архиве Курочкина Юрия Михайловича. Ю.М. Курочкин, журналист, писатель, автор нескольких интересных книг о прошлом Урала, на период переписки с ученым сотрудник журнала «Техника смене»

Детский научно-технический журнал «Техника смене» начал выходить в Свердловске в 1928 году, в начале назывался «ДВС» (Делай все сам), с 1931 года – «Техника смене». Связи Циолковского с журналом начались в 1931 году. В № 2-3 был опубликован очерк «Два часа у Циолковского». Автором очерка был молодой свердловский журналист Павел Чикаш, который, отслужив год в школе кремлевских курсантов в Москве, возвращался на родной Урал через Калугу, чтобы по заданию журнала встретиться с Циолковским и рассказать о нем уральским юным читателям. Как писал П. Чикаш: «Он неподдельно обрадовался, когда узнал, что наши уральские юнтехы имеют достижения и даже свой журнал, для которого я с ним и беседую». В 1934 году редакция журнала при составлении перспективного плана на 1935 год в ответ на пожелания читателей о выборе профессии, решила дать серию статей об ученых. Были разосланы просьбы с письмами к ряду ученых, в том числе и к Циолковскому: «Редакция открывает в



журнале раздел "И они были маленькими", где будет помещать воспоминания ученых о своих детских годах, в частности для этого раздела уже пишет А.Е. Ферсман и еще ряд ученых. Мы очень просим Вас, дорогой Константин Эдуардович, откликнуться. Ведь эти 200-300 строк, помещенные в журнале, столько дадут ребятам, и, кто знает, в скольких головенках эти строки зажгут желание быть такими же, как Вы, идти таким же, подчас тернистым, но славным путем». Вместе с письмом были посланы несколько номеров журнала за 1934 год. Они сохранились в мемориальной библиотеке ученого.

Так начались контакты К.Э. Циолковского и Ю.М. Курочкина, которые продолжались всего несколько месяцев и благодаря которым в архиве Курочкина отложился ряд документов: письма Циолковского, статьи, автобиография.

Наши контакты с Ю.М. Курочкиным начались в 1989 году, была переписка о передаче или продажи материалов в музей. Но, к сожалению, договориться не удалось. В 1994 году Юрия Михайловича не стало. Незадолго до этого он оставил своим детям и внукам письмо, касающееся отложившихся в его архиве материалов Циолковского: «Музей истории космонавтики в Калуге просит у меня передать оригиналы рукописей и писем Циолковского, которые я получал от него в 1935 году. Предлагали даже приехать за ними в Екатеринбург. Но я думаю, что можно сделать и иначе. Когда Андрюша или Слава поедут в командировку в Москву, то "заскочат" и в Калугу. К кому там, в Калуге, обратиться, можно узнать из писем, которые есть в папке... Из бумаг Циолковского я бы оставил рукопись (машинопись) автобиографии... Пусть что-то хранится и у нас дома...».

В позапрошлом году меня нашел его сын Владислав Юрьевич. На этот раз удалось договориться. В конце апреля я привезла документы в музей. Музей получил в дар свыше 30 предметов. Это документы, книги, автором которых является Ю.М. Курочкин, фотографии. Наибольший интерес и значимость имеют материалы Циолковского, о которых мы расскажем в нашем сообщении: письма и почтовые карточки Циолковского Ю.М. Курочкину от 1935 года. Среди них: обращение ученого к читателям журнала «Техника смене» под названием «Ребятам от Циолковского»; статья Циолковского «Изобретателям реактивных машин»; автобиография Циолковского «Черты из моей жизни»; статья Циолковского «Непрерывность жизни», посланная ученым В.М. Чернову; ряд рисунков с изображением Циолковского, исполненных художником журнала «Техника смене» и опубликованных в журнале.

Жизнь Юрия Михайловича не была простой и гладкой: как враг народа, он был осужден на 10 лет, потом поражение в правах, в Свердловск вернулся только в 1953 году, после смерти Сталина. Анна Павловна Курочкина, жена Юрия Михайловича, все сохранила. После смерти Юрия Михайловича все материалы хранил его сын Владислав Юрьевич. На семейном совете было решено передать материалы в музей. Материалы передавались правнучкой Юрия Михайловича Ксенией Викторовной Осиповой. Преподаватель университета, доктор филологических наук, она, как и старшие члены семьи прекрасно понимает значимость и стоимость этих документов, которые можно было продать. И потому вызывает глубочайшее уважение гражданская позиция семьи, которая сохранила бесценные документы, пополнившие музейное собрание и ставшие государственной собственностью - национальным достоянием страны.

УДК 93/94

eLIBRARY.RU: 03.23.55

**Огарков В.В.**

**Ogarkov V.V.**

магистр истории

Мемориальный музей космонавтики, г Москва

**НЕФОРМАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ ОКБ-1: СТЕННЫЕ ГАЗЕТЫ КАК  
ИСТОЧНИК ПО ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ  
КОСМОНАВТИКИ**

**INFORMAL LIFE OF OKB-1: WALL NEWSPAPERS  
AS A SOURCE FOR THE HISTORY  
OF RUSSIAN COSMONAUTICS**

**Аннотация.** Неотъемлемой частью советской действительности были стенные газеты, которые делали сами сотрудники различных подразделений советских предприятий. В силу высокой степени секретности стенгазеты ОКБ-1 отражали события, которые нельзя было вынести за пределы предприятия. И понятны эти сюжеты были лишь сотрудникам ОКБ-1. Анализ стенных газет поможет по-новому взглянуть на некоторые события в истории отечественной космонавтики, показав «взгляд изнутри»: то, как видели те или иные ситуации рядовые сотрудники предприятия ОКБ-1. В 2023 г. сохранившиеся экземпляры стенгазет были переданы В.Е.Бугровым в

фонды «Мемориального музея космонавтики». В данной статье проанализирована стенгазета №2 – хронологически первая из сохранившихся.

**Ключевые слова:** С.П. Королев, В.Е. Бугров, ОКБ-1, «Восход», «Союз» тяжелый межпланетный корабль, Н1, лунный корабль, марсианский корабль, стенная газета.

**Abstract.** An integral part of Soviet reality were wall newspapers, which were made by the employees of various departments of Soviet enterprises. Due to the high degree of secrecy, the wall newspapers of ОКБ-1 reflected events that could not be taken outside the enterprise. And these stories were understandable only to the employees of ОКБ-1. An analysis of wall newspapers will help to take a fresh look at some events in the history of Russian cosmonautics, showing an "inside view": how ordinary employees of the ОКБ-1 enterprise saw certain situations. In 2023, the surviving copies of wall newspapers were transferred by V.E. Bugrov to the funds of the "Memorial Museum of Cosmonautics". This article analyzes wall newspaper No. 2 - chronologically the first of those preserved.

**Keywords:** Space exploration, S.P. Korolev, V.E. Bugrov, ОКБ-1, Voskhod, Soyuz, heavy interplanetary ship, N1, Lunar ship, Martian ship, wall newspaper.

Неотъемлемой частью советской действительности, как элемента важнейшего идеологического воздействия на различные слои общества, были стенные газеты, которые делали сами сотрудники различных подразделений советских предприятий. Удивительным образом в создании таких газет была определенная инициатива творческой молодежи и различных идеологических центров, таких как ВЛКСМ и КПСС.

Стенгазеты как правило делались один раз в месяц, на ватманском листе А1 и по понятным причинам создавались в одном экземпляре. Обычно такие стенгазеты посвящались праздниками (7 ноября – «Красный день календаря», День Октябрьской социалистической революции, Новый год, Международный женский день – 8 марта и т.д.). Реже, газеты не были приурочены к праздникам, а носили обзор текущих событий. Особенно популярны подобные стенгазеты были в общеобразовательных учреждениях – школах, техникумах, институтах, реже на предприятиях страны, они имели важное идеологическое и воспитательное значение.

А. Савин, говоря о значимости стенных газет, отмечал: «Наши периодические газеты еще не могут достичь удовлетворительного

охвата рабочего быта, удовлетворить его запросам во всей их многообразности и вполне отобразить его культурный рост. Это творческое начало находит выход в издании стенных газет. Возникает ряд стенных газет — фабричных, крестьянских, красноармейских, комсомольских» [1, с. 23].

Стенгазеты в ОКБ-1 имели несколько другой смысл. Работа предприятия в то время была полностью засекречена, как были засекречены и некоторые сотрудники. Например, Главный конструктор С.П. Королев был неизвестен общественности, да и большинству сотрудников ракетно-космической отрасли вплоть до своей смерти в 1966 году. Лишь 16 января 1966 года во всех центральных газетах Советского Союза был опубликован некролог [2, с. 4], в котором страна узнала имя таинственного конструктора, который был ответственен за все первые победы в космосе. Стенгазеты 9-го отдела ОКБ-1 отражали жизнь предприятия, события, которые нельзя вынести за пределы этих стен. И понятны эти сюжеты были лишь сотрудникам ОКБ-1.

Сотрудник ОКБ-1 Владимир Евграфович Бугров (род. 1933 г.) был руководителем рабочей группы по стенным газетам и главным художником, поэтому именно его можно считать автором этих газет. Сам он тоже присутствует почти на всех газетах. В стенгазете № 2 он представлен в первом сюжете и держит в руках инструмент, похожий на транспортёр.

Стенгазеты издавались один раз в год — к Новому году и были отрисованы в сатирическом стиле. Они представляют собой карикатуры на важнейшие события, произошедшие на предприятии. На одной стенгазете может быть до 20 «сюжетов» каждый из которых необходимо рассматривать по отдельности, а затем объединять в общую линию. Всего было отрисовано 11 стенгазет, но сохранились лишь 9 из них. В марте 2023 года стенгазеты были переданы В.Е. Бугровым в фонды Мемориального музея космонавтики.

Сквозной темой стенгазет является изменение структуры предприятия. Она же в свою очередь отражает направления развития отечественной космонавтики. Необходимо заметить, что все газеты выпущены после того, как отдел № 9 был реорганизован, так что название «стенгазеты 9 отдела» условно. Скорее они создавались людьми, которые некогда в данном подразделении работали.

Наличие или отсутствие конкретных людей обусловлено их участием в конкретных сюжетах, изображенных в стенгазете. Т. е. «не было цели показать всех сотрудников даже самого отдела. Общее отношение к подобного рода печати со стороны коллег и партийной

ячейки имело ряд особенностей» [3, с. 293-294]. Данные издания не пересекались с ежемесячными стенгазетами всего предприятия [3, с. 295].

Стенные газеты 9-го отдела ОКБ-1 представляют невероятную ценность для всех музеев и архивов, занимающихся историей космонавтики. Их детальное изучение заслуживает отдельного научного исследования. Здесь же будет затронут сюжет лишь одной газеты, как пример деятельности рабочей группы предприятия<sup>1</sup>. К сожалению, первая стенгазета была утрачена, поэтому в данной статье будет проанализирована стенгазета № 2 [4].

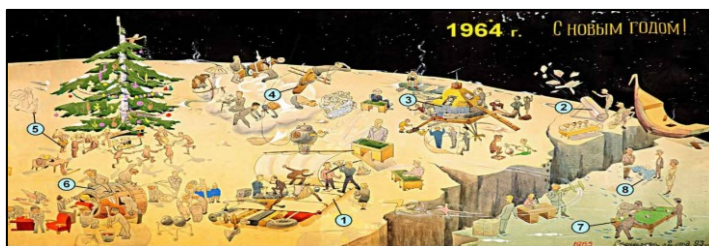


Рис. 1. Изображение из стенной газеты 9-го отдела ОКБ-1 1964 г.

Стенгазета № 2 была изготовлена в декабре 1964 года, а была вывешена на стены предприятия в январе 1965 года. В ней отражено главное событие 1964 года – постановление об использовании Н1 в качестве «Лунной» ракеты (Рисунок 1). Лунный комплекс строится, разрабатывается и сам корабль, елка символизирует Н1, доработки к которой еще будут. Часть отдела продолжила заниматься «Восходами» и «Союзами», часть разрабатывают лунный корабль и ТМК (Тяжелый межпланетный корабль). Марсианский корабль сел на мель, но выпускается документация для наземных испытаний в ИМБП.

Трещина символизирует разделение девятого отдела. Часть сотрудников осталась на втором производстве с кораблями «Восток» и автоматами. Остальные переселились на первое: в отдел 93 разрабатывать лунные корабли и в отдел 92 разрабатывать макет ТМК. (1) Центральный фрагмент – плот под парусом – символизирует

---

<sup>1</sup> Данная статья подготовлена автором на основе выпускной квалификационной работы магистра по направлению 46.04.01 «История» на тему «Вклад в развитие отечественной ракетно-космической отрасли В.Е. Бугрова», защищенной на кафедре истории России РУДН в июне 2024 года. Научный руководитель – к.и.н., доц. Хорунжий А.В.

постройку лунного комплекса ЛЗ на обломках марсианского. На плоту капитан В.Ф. Садовый, с безменом О.Г. Макаров, В.Е. Бугров, Н.М. Терешенкова. Парус наполняют И.С. Прудников, Е.Ф. Рязанов и К.П. Феокистов. (2) Марсианский корабль сел на мель. И.В. Лавров (нач. отд. 92), В.К. Алгунов, Н.Н. Протасов «выпускают» документацию, на макет ТМК. (3) Избушка – лунный корабль. Поясняет чертеж Е.Ф.Рязанову Ю.М. Фрумкин. На трапе В. Шауров. У «ног» А.А. Саркисян. (4) Туманное облако – сектор К.С. Шустина, он смотрящий, от него (по часовой): Л.А. Горшков, В.Е. Любинский, Э.К. Демченко, Б.Г. Супрун. (5) Дед Мороз с новогодними «подарками»: ликующим ракетчикам С.С. Крюкова – доработки ракеты Н1 под лунную программу. По «обуви» угадывается В.П. Мишин. (6) Дебаты по выбору формы спускаемого аппарата. (7) Катанием шаров – «Восходов» – заняты В.В. Молодцов, В.Д. Благов, Ю.Г. Цыплаков. (8) Вокруг марсианского «утенка» – Г.Ю. Максимов, Г.С. Суссер, М.И. Герасимова.

Анализ стенных газет поможет по-новому взглянуть на некоторые события в истории отечественной космонавтики, показав «взгляд изнутри». То, как видели те или иные ситуации рядовые сотрудники предприятия ОКБ-1.

### **Литература**

1. Савин А. О наших стенных газетах // Профессиональное движение в Киргизии. 1924. № 3 (13).
2. Академик Сергей Павлович Королев // Правда. 1966. № 16.
3. Бугров В.Е. Марсианский проект С.П. Королева. – М.: Русские Витязи, 2009. – 315 с.
4. Бугров В.Е. Стенгазета 9-го отдела ОКБ-1 к новому 1965 году / под ред. В. Бугрова, Г. Алгуновой, Г. Балашовой, Л. Горшкова, В. Любинского, А. Максименко, А. Саркисян и др. 1964 // Фонды Мемориального музея космонавтики. ММК КП 4978/1.

УДК 523.34+001.95  
eLIBRARY.RU: 17.82.82

**Дружинин Ю.О.**  
**Druzhinin Yu.O.**

кандидат технических наук  
старший научный сотрудник  
Института проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва

## РАБОТЫ Е.А. РОГОВСКОГО ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ

### THE WORKS OF EVGENY ALEXANDROVICH ROGOVSKY ON THE STUDY OF PLANETARY ATMOSPHERES

**Аннотация.** Е.А. Роговский первым в России применил кинетическую теорию газов к определению химического состава и других параметров атмосфер планет Солнечной системы. Он понимал ограниченность используемых им физических моделей межпланетного пространства и выразил надежду на появление средств непосредственного измерения параметров вземных атмосфер. Работая в одно время с К.Э. Циолковским, он не был знаком с его трудами по космонавтике.

**Abstract.** E.A. Rogovsky was the first person in Russia to apply the kinetic theory of gases to the determination of the chemical composition and other parameters of the atmospheres of the planets of the Solar system. He understood the limitations of the physical models of interplanetary space used by him and expressed hope for the appearance of means for directly measuring the parameters of extraterrestrial atmospheres. Working at the same time with K.E. Tsiolkovsky, he was not familiar with his writings on astronautics.

**Ключевые слова:** кинетическая теория газов, исследование вземных атмосфер, история астрономии.

**Keywords:** the kinetic theory of gases, the study of extraterrestrial atmospheres, the history of astronomy.

Физик и метеоролог Евгений Александрович Роговский (1855-1911) в 1884 году применил кинетическую теорию газов, результаты измерения теплового излучения планет болометром С. Лэнгли, и закон всемирного тяготения для расчета скорости убегания молекул различных газов из атмосфер планет [1-2].

Став 22 октября 1898 года членом Русского астрономического общества, он продолжал эти исследования всю свою жизнь. Он понимал приблизительность своих вычислений: «При полном незнании распределения температуры в междупланетном пространстве, все численные результаты, полученные на основании <...> формул, не могут быть достоверны; но эти формулы показывают, что <...> температура или состав атмосфер небесных тел, вещь не случайная, а необходимое следствие законов всемирного тяготения, лучистой теплоты, и теории газов. При расширении и усовершенствовании наших знаний в этих областях науки, выводы

относительно свойств атмосфер небесных тел могут быть сделаны ближе к истине; но полную достоверность они могут получить только тогда, когда в наших руках будут средства для их непосредственной проверки, возможность чего нельзя отвергать, имея в виду живой пример в неудачном пророчестве Огюста Конта относительно возможности узнать состав небесных тел» [3, С. 34].

Удивительно, но Е.А. Роговский был на заседании Физического отдела РФХО 26 октября 1882 года, когда П.П. Фан-дер-Флит представил статью о теории газов (!) преподавателя уездного училища в г. Боровске [4], который в будущем укажет на средства достижения небесных тел.

Е.А. Роговский умер в конце января 1911 года до выхода получившей известность второй части работы К.Э. Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами».

### **Литература**

1. Роговский Е. О строении земной атмосферы и общих законах теории газов // Журнал Русского физико-химического общества. 1884. – Т. XVI. – № 2. – Ч. Физич. – Отд. 1. – С. 25-48; № 4. – С. 185-212.
2. Роговский Е. Заметка об атмосферах планет, температуре солнца, небесного пространства и земной атмосфере // Журнал Русского физико-химического общества. – 1884. – Т. XVI. – № 9. – Ч. Физич. – Отд. 1. – С. 524-538.
3. Роговский Е. О составе атмосфер солнца и планет и их температуре // Известия Русского астрономического общества. – 1898. – Вып. VII. – С. 10-34.
4. Протокол 40-го (90) заседания Физического отделения. 26-го октября 1882 г. // Журнал Русского физико-химического общества. 1882. – Т. XIV. – № 8. – Ч. Физич. – Отд. 1. – С. 479-481.



**ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА ГАГАРИНА –  
ЖЕНА ПЕРВОГО КОСМОНАВТА ЗЕМЛИ**

**VALENTINA GAGARINA – THE WIFE OF THE FIRST  
COSMONAUT OF EARTH**

**Аннотация.** Прослежены основные этапы жизни и общественной деятельности В.И. Гагариной.

**Ключевые слова:** Валентина Ивановна Гагарина, Юрий Алексеевич Гагарин, первый космонавт Земли.

**Abstract.** The main stages of life and social activity of V.I. Gagarina are traced.

**Keywords:** Valentina Ivanovna Gagarina, Yuri Alexeevich Gagarin, the first cosmonaut of Earth.

Валентина Ивановна Гагарина (в девичестве Горячева) родилась 15 декабря 1935 года в Оренбурге (в 1938-1957 годах город Чкалов) в семье мещан, где уже было пятеро детей: трое братьев – Михаил, Иван, Алексей и две сестры – Мария и Таисия.

Отец, Горячев Иван Степанович (1894–1960), родом из Оренбурга. Всю жизнь проработал поваром и, по отзывам, был мастером своего дела. С 1910 года работал заведующим столовой, с 1955 года – пенсионер. Мать, Горячева Варвара Семеновна (1895–1961) из Рязанской губернии. Занималась домашним хозяйством и воспитанием детей [1]. Иван Степанович и Варвара Семеновна Горячевы похоронены в Оренбурге. Когда началась Великая Отечественная война Валентине было всего 5 лет.

Во время войны Иван Степанович Горячев работал шеф-поваром эвакогоспиталя № 1654 в Оренбурге. Был награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

Старший брат Горячев Михаил Иванович (1918-06.10.1941) был призван в Красную Армию в 1938 году, служил в городе Кедайняй (Литва). По номеру полевой почты удалось установить, что он в июне 1941 года находился в 181 стрелковой дивизии (I формирования), которая в начале войны за два месяца трижды попадала в окружение:

первый раз - 06.07.1941 в районе Красногородска, второй раз – 21-25.07.1941 в районе Пушкинских Гор (вышла на ст. Сущево), третий раз – 08.09.1941 под Старой Руссой. Горячев Михаил Иванович пропал без вести во время этих боев и 3-х окружений дивизии в июне-октябре 1941 года.

Брат Горячев Иван Иванович (1924-????) сержант, шофер, 6-го автополка 283-го моторизованного батальона особого назначения на 29.06.1943, согласно именованному списку 6-го автополка (команда 1574), участник войны с Империалистической Японией.

Брат Горячев Алексей Иванович (1926-10.03.1945), стрелок 776 стрелкового полка 214 стрелковой дивизии 52 Армии 1-го Украинского фронта, красноармеец. Был призван 18 июля 1944 года. Погиб во время боев 214-й стрелковой дивизии на рубежах севернее и северо-восточнее Лаубана. Место захоронения: Польша, Вроцлавское воев., пов. Любаньский, город Лаубан, братское кладбище (ныне Польша, город Любань, парк Каменна Гура).

Сестра, Мария Ивановна Горячева (1920-????), красноармеец 2-й отдельной зенитной артиллерийской батареи противоздушной обороны Северо-Западного фронта, Волховского фронта, имела ранение в 1943 году, награждена медалью «За боевые заслуги» (04.06.1944).

Валентина Горячева после окончания средней школы № 24 в 1954 году работала на городском телеграфе в должности телеграфистки. В 1956 году поступила в медицинское училище в городе Чкалов и продолжала работать на телеграфе. «До чего Валя в молодости была красива — точеная фигура, огромные карие глаза, чернобровая, коса ниже колен!» - вспоминала племянница Ю.А. Гагарина Тамара Филатова.

27 октября 1957 года Валентина Ивановна и Юрий Алексеевич Гагарин поженились. Ю.А. Гагарин на тот момент был выпускником 1-го Чкаловского военного авиационного училища летчиков имени К.Е. Ворошилова (позднее Оренбургское высшее военное авиационное Краснознаменное училище летчиков имени И.С. Полбина, расформировано 12.02.1993).

В 1958 году после окончания училища и получения диплома по специальности лабораторная диагностика (в дипломе - «фельдшер-лаборант») Валентина приехала на Север к месту службы мужа в поселок Луостари-Новое Печенегского района Мурманской области (ныне п. Корзуново).

После зачисления Ю.А. Гагарина в отряд космонавтов, в июле 1960 года Валентина Ивановна была принята на работу во 2-й отдел

Войсковой части № 26266 – медицинское управление Центра подготовки космонавтов ВВС (ныне ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтом имени Ю.А. Гагарина»).

Из наградного листа ордена Ленина от 15 апреля 1961 года В.И. Гагариной: «За период работы в войсковой части 26266 с июля 1960 года в должности клинического лаборанта принимала активное участие в производстве клинических лабораторных исследований космонавтов при проведении ими сложных испытаний и тренировок. Прodelала большое количество самых разнообразных клинических анализов, проявляя при этом высокую квалифицированность, добросовестность и своевременность выполненных работ. Прodelанной работой Гагарина В.И. оказала большую помощь врачам-специалистам в правильной оценке состояния здоровья космонавтов. Своей добросовестной работой Гагарина В.И. внесла достойный вклад в общее дело подготовки для полета человека в космическое пространство».

Продолжая работать, в течение 30 лет, в медицинском управлении ЦПК ВВС, Валентина Ивановна Гагарина внесла достойный вклад в общее дело подготовки и последующих полетов людей в космическое пространство. Стойко переносила горечь тяжелой утраты после трагической гибели мужа, и, постоянно следовала его просьбе в письме, написанном им перед полетом в космос 10 апреля 1961 года: «Береги, пожалуйста, наших девочек, люби их, как люблю я» [3].

Гагарина Елена Юрьевна родилась 10 апреля 1959 года в городе Заполярный Мурманской области, окончила исторический факультет Московского Государственного университета имени М.В. Ломоносова. С 2001 года работает Генеральным директором Федерального Государственного учреждения «Государственный историко-культурный музей-заповедник «Московский Кремль». Кандидат искусствоведения (1989). Заслуженный работник культуры Российской Федерации (2004) [4]. 30 мая 2024 года Президент Российской Федерации Владимир Путин вручил Елене Юрьевне орден «За заслуги перед Отечеством» III степени.

Гагарина Галина Юрьевна родилась 7 марта 1961 года в Москве, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации (2008). Работает преподавателем Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова [5].

Валентина Ивановна Гагарина активно принимала участие во многих мероприятиях, посвященных первому космонавту Земли, помогала в создании уникального Музея имени Юрия Гагарина, на его малой родине в городе Гжатске Смоленской области (ныне город Гагарин). В 1970 году Валентина Ивановна передала в дар музею более 600 предметов, которые составили основу собрания мемориального музея: это автомобиль «Волга», личные вещи первого космонавта, его многочисленные подарки, грамоты и дипломы, книги из домашней библиотеки, парадный китель, все награды и документы, специальные выпуски номеров газет. При ее личном участии также был организован Музей-квартира Юрия и Валентины Гагариных в Оренбурге.

В память о муже Валентина Ивановна написала две книги: «108 минут и вся жизнь» (В. Гагарина; литературная запись М. Реброва. – М.: Мол. Гвардия, 1981. – 135 с) и «Каждый год 12 апреля» (литературная запись М. Реброва. – М.: Советская Россия, 1984. – 94 с).

В.И. Гагарина прожила в Звездном городке Щелковского района Московской области более 50 лет. По воспоминаниям современников, она была удивительно спокойной женщиной, не стремящейся к публичности и практически закрытой для журналистов.

Образ В.И. Гагариной запечатлен в художественном фильме: «Гагарин. Первый в космосе» (Москва, Кинокомпания «Кремлин Филмз», 2013 год) [6].

Валентина Ивановна Гагарина является кавалером ордена Ленина (1961) [7].

В 2011 году В.И. Гагарина Решением Президиума Федерации космонавтики России, за весомый вклад в развитие Отечественной космонавтики, и популяризацию ее достижений, была награждена орденом Гагарина [8]. Также награждена знаком отличия губернатора Московской области «Благодарю» [9] и Постановлением губернатора Подмосковья от 27 сентября 2017 года ей присвоено звание «Почетный гражданин Московской области» [10].

В.И. Гагарина скончалась 17 марта 2020 года. Похоронена на Федеральном Военном Мемориальном кладбище (ныне Федеральный Военный Мемориал «Пантеон Защитников Отечества») в городе Мытищи, Московской области.

## **Литература**

1. Эта память не имеет цены // Госкорпорации Роскосмос: Сайт. URL: [https:// www.roscosmos.ru/15141/](https://www.roscosmos.ru/15141/) (дата обращения: 29.05.2024).

2. На самой высокой службе // ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» // Сайт. URL: <https://www.gctc.ru/print.php?id=2935> (дата обращения: 29.05.2024).
3. Мария Белова. Памяти Валентины Ивановны Гагариной: вечная любовь. Музей-заповедник Ю.А. Гагарина // Сайт. URL: [https://museumgagarin.ru/news/pamyati\\_valentiny\\_ivanovny\\_gagarinoey\\_vechnaya\\_lyubov/](https://museumgagarin.ru/news/pamyati_valentiny_ivanovny_gagarinoey_vechnaya_lyubov/) (дата обращения: 29.05.2024).
4. Гагарина Елена Юрьевна // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гагарина,\\_Елена\\_Юрьевна](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гагарина,_Елена_Юрьевна) (дата обращения: 29.05.2024).
5. Гагарина Галина Юрьевна // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гагарина,\\_Галина\\_Юрьевна](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гагарина,_Галина_Юрьевна) (дата обращения: 29.05.2024).
6. Валентина Ивановна Гагарина // Космический мемориал: Сайт. URL: <http://sm.evg-rumjantsev.ru/medicina/gagarina-valentina-ivanovna.html> (дата обращения: 29.05.2024).
7. Орден Ленина // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Орден\\_Ленина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Орден_Ленина) (дата обращения: 29.05.2024).
8. Орден Ю.А. Гагарина. Высшие награды Федерации космонавтики России // Сайт. URL: <https://fkrus.ru/2018-06-30-14-28-40.html>. (дата обращения: 29.05.2024).
9. Награды Московской области // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Награды\\_Московской\\_области](https://ru.wikipedia.org/wiki/Награды_Московской_области) (дата обращения: 29.05.2024).
10. Почетный гражданин Московской области // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Почетный\\_гражданин\\_Московской\\_области](https://ru.wikipedia.org/wiki/Почетный_гражданин_Московской_области) (дата обращения: 29.05.2024).

**Секция 2**  
**«ПРОБЛЕМЫ РАКЕТНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»**

УДК 629.78  
eLIBRARY.RU: 55.49.07

**Бронников С.В.**  
**Bronnikov S.V.**

кандидат технических наук  
главный научный сотрудник  
ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», г. Королев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖЕЙ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

**DESIGN OF A SPACECRAFT CREW TRAINING SYSTEM**

**Аннотация.** Рассматривается система технической подготовки экипажа (СТПЭ) космического аппарата (КА), целью которой является выработка у экипажа знаний, навыков и умений управления и эксплуатации КА для выполнения программы полета [1]. Приводятся схемы: функциональная и взаимодействия СТПЭ с внешними системами. Приводятся основные требования к СТПЭ. Рассмотрен вопрос организации работ по разработке СТПЭ и учебно-тренировочных средств для подготовки космонавтов. Предлагается разработку СТПЭ выполнять в составе космического комплекса, а разработку УТС – в составе КА. Важным, но не всегда учитываемым критерием организации работ является риски несанкционированного распространения конструкторской документации КА. Предлагается два способа снижения указанных рисков. Первый заключается в создании специальной системы информационного взаимодействия между организацией - головной разработчик КА и головной организацией по подготовке экипажей. Второй заключается в том, что УТС для СТПЭ разрабатывает организация - головной разработчик КА.

**Ключевые слова:** система технической подготовки экипажей космического аппарата, автоматизированная система управления полетом, риски несанкционированного распространения конструкторской документации.

**Abstract.** The spacecraft crew technical training system (CTTS) is considered, the purpose of which is to develop in the crew knowledge, skills

and abilities to control and operate the spacecraft to carry out the flight program [1]. A functional diagram and a diagram of the interaction of the CTTS with external systems are presented. The basic requirements for CTTS are given. The issue of organizing work on the development and operation of CTTS training facilities is considered, taking into account the need to reduce the risks of unauthorized distribution of spacecraft design documentation. There are two ways to solve this problem. The first is to create a special system of information interaction between the organization - the lead developer of the spacecraft and the lead organization for crew training. The second is that training facilities for CTTS are developed by the organization - the lead developer of the spacecraft.

**Keywords:** spacecraft crew technical training system, automated spacecraft flight control system, risks of unauthorized distribution of the spacecraft design documentation.

Рассматривается система технической подготовки экипажа (СТПЭ) КА, целью которой является выработка у экипажа знаний, навыков и умений управления и эксплуатации КА с целью выполнения программы полета [1]. Функциональная схема СТПЭ приведена на рис. 1.



Рис. 1. Функциональная схема СТПЭ

В настоящее время учебно-тренировочные средства (УТС) для технической подготовки экипажа включены в состав космического комплекса (КК). Однако УТС для технической подготовки разрабатываются организацией головной по подготовке экипажа вне процесса проектирования КК по ТЗ Заказчика космического

комплекса. Такой подход имеет ряд недостатков, основной из которых заключается в том, что функции заказчика, производителя и эксплуатанта УТС не разделены между разными организациями. Работы и ответственность между организациями должны быть распределены так, чтобы предупредить возникновение несоответствий в УТС и процессах подготовки экипажей.

Показано, что, с точки зрения системного подхода в рамках КК должна создаваться СТПЭ. УТС для подготовки персонала управления КА, в том числе для экипажа КА, должны создаваться в рамках создания КА по п. 5.1.1. технического задания на КА.

Схема взаимодействия СТПЭ со внешними системами приведена на рис. 2.

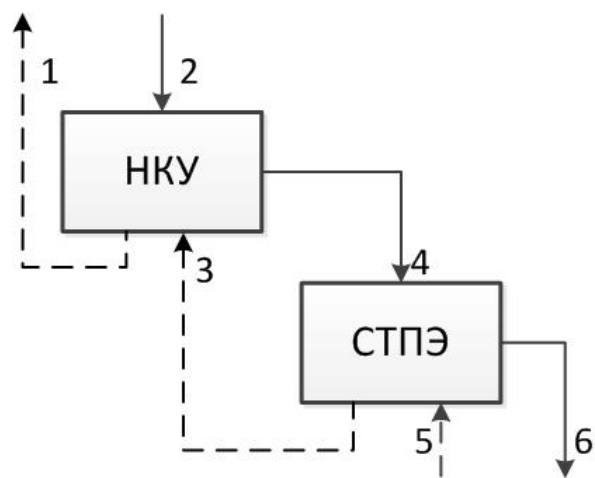


Рис. 2. Схема взаимодействия СТПЭ с внешними системами

По линии прямой связи 4, которая является управляющей, в СТПЭ поступают требования, включающие сроки эксплуатации КА, график полетов, количество экипажей, а также для каждого полета: программа полета, особенности текущего состояния КА, состав экипажа, требования к распределению функций между членами экипажа, к уровням подготовленности членов экипажа, описание задач экипажа и т.д. СТПЭ на основе поставленных целей и программы полета, информации о состоянии своих подсистем, данных о текущем уровне подготовленности экипажа, разрабатывает и корректирует планы работы своих подсистем, непосредственно выполняющих подготовку экипажа. По линии обратной связи 3 из СТПЭ в НКУ передаются данные о результатах подготовки экипажа, на основании которых



разрабатывается программа работы экипажа и программа полета в целом. СТПЭ формирует и передает своим подсистемам цели и задачи подготовки по управляющей связи 6. Информация о выполнении подсистемами СТПЭ поставленных целей, о ходе подготовки поступает в СТПЭ по линии обратной связи 5. СТПЭ может включать в общем случае следующие составные части (системы): теоретической подготовки, практической подготовки, обеспечения эксплуатации УТС, подготовки обучающего персонала и т.п.

Головная роль по созданию НКУ, включая выдачу ТЗ на системы, входящие в НКУ, в том числе на СТПЭ, должна быть поручена организации, ответственной за управление полетом КА.

Приводятся основные требования к СТПЭ. Рассмотрен вопрос организации работ по разработке и эксплуатации СТПЭ с учетом необходимости снижения рисков несанкционированного распространения конструкторской документации КА. Предлагается два способа решения этой проблемы. Первый заключается в создании специальной системы информационного взаимодействия между организацией - головной разработчик КА и головной организацией по подготовке экипажей. Второй заключается в том, что УТС для СТПЭ разрабатывает организация - головной разработчик КА.

### **Литература**

1. Система подготовки космонавтов в России / Сборник статей под ред. П.И. Климука. Звездный городок: Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, 1995. 65с.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.07

**Бронников С.В.**  
**Bronnikov S.V.**

кандидат технических наук  
главный научный сотрудник

ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», г. Королев

## СТРУКТУРА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТОМ ПИЛОТИРУЕМОГО КА

### STRUCTURE OF A MANNED SPACECRAFT FLIGHT CONTROL PROCESS

**Аннотация.** Представлена схема автоматизированной системы управления полетом (АСУП) КА в виде основных контуров управления, включающих следующие управляющие органы: - главная оперативная группа управления, экипаж КА, компьютер или вычислительный комплекс. Организация процесса управления полетом представлена тремя уровнями 1) цикл управления; 2) цикл выработки решения; 3) цикл выработки варианта решения.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления полетом, пилотируемый КА, главная оперативная группа управления.

**Abstract.** A diagram of a spacecraft flight automated control system (SFACS) is presented in the form of main control loops, including the following control elements: ground control group, spacecraft crew, computer or computer complex. The organization of the flight control process is represented by three levels: 1) control cycle; 2) decision development cycle; 3) cycle of developing a solution option.

**Keywords:** spacecraft automated flight control system, manned spacecraft, ground control group.

Предметом исследования настоящей работы является структура процесса управления реализуемого в АСУ полетом (АСУП) пилотируемого КА. Исследование структуры процесса управления полетом не является новым вопросом. Этот вопрос ранее рассматривался в [1-3] и других публикациях.

Цель настоящей работы разработка схемы АСУП в виде основных контуров управления, формализованного описания процесса управления, включая определение его основных этапов и ключевых точек принятия решений на основе теоретического подхода к проектированию больших систем [4].

АСУП включает автоматические, полуавтоматические (автоматизированные) и ручные подсистемы, состоящие из большого количества ручных и автоматических контуров управления. Ручной контур замыкается через человека-оператора и содержит, в общем случае, управляющий орган в виде человека – оператора, и аппаратно-программные средства. Автоматический контур замыкается через

автоматическое управляющее устройство, например, компьютер и содержит только аппаратно-программные средства.

Основные управляющие органы АСУП - это персонал управления полетом – главная оперативная группа управления (ГОГУ), экипаж КА, бортовая автоматика (контроллер, компьютер или вычислительный комплекс). Для демонстрации процесса управления полетом на рис. 1. приведена упрощенная схема АСУП и бортовой системы управления, в которой показаны основные контура управления.

Главным управляющим органом в АСУП является ГОГУ, которая является управляющим органом во всех контурах, в которые она включена (контур 1,2 на рис.1). Экипаж выполняет различные роли в разных контурах управления: экипаж является управляющим звеном в контурах 3, 4; экипаж является управляемым звеном, т.е. младшей системой, в контуре 2).

Организация процесса управления полетом имеет иерархическую структуру, которая может быть представлена тремя уровнями 1) высшим уровнем является цикл управления, состоящий из пяти этапов: оценки состояния КА и обстановки, выработки общего плана полета, разработки детального плана полета, формирования командно-программной информации, оформления планов и передача планов органам реализации АСУП на исполнение, закладки управляющих массивов в бортовые и наземные исполнительные средства; 2) средним уровнем — цикл выработки решения, состоящий из двух этапов: обоснования и принятия решения; 3) низшим уровнем — цикл выработки варианта, состоящий из трех этапов: подготовки данных для решения (задания варианта), решения и анализа варианта (рис. 2-4).

Схема организации процесса выработки решений по управлению полетом приведена на рис.5.

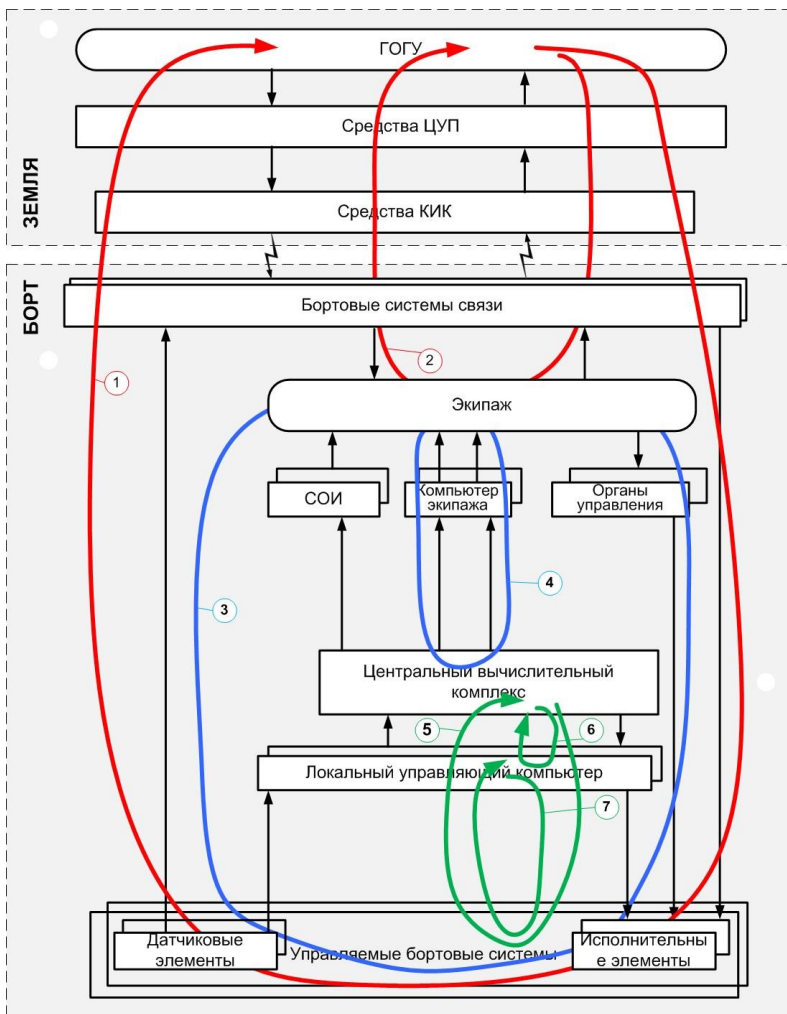


Рис. 1. Структура основных контуров управления АСУП пилотируемого КА. 1, 2 – ручные контуры с управляющим органом ГОУ; 3, 4 - ручные контуры с управляющим органом экипаж; 5, 6 - автоматические контуры с управляющим органом центральный вычислительный комплекс; 7 – автоматический контур с управляющим органом локальный компьютер



Рис. 2. Цикл управления полетом

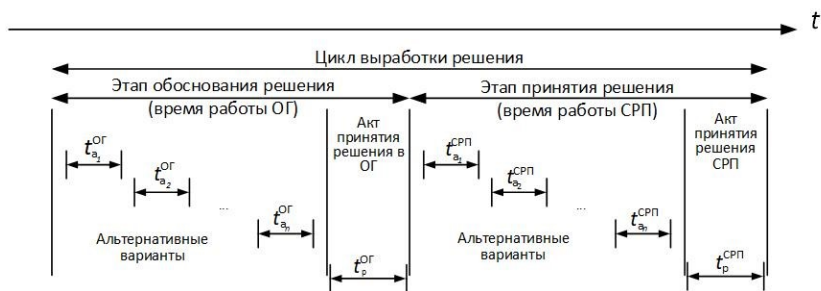


Рис. 3. Цикл выработки решения:  $t_{a_i}^{OG}, t_{a_i}^{СРП}$  : - длительность разработки или оценки  $i$ -го альтернативного варианта решения;  $t_p^{OG}, t_p^{СРП}$  – длительность принятия решения (выбора одного из альтернативных вариантов решения). Верхний индекс указывает того, кто выполняет эту работу; ОГ-оперативная группа; СРП-сменный руководитель полета.

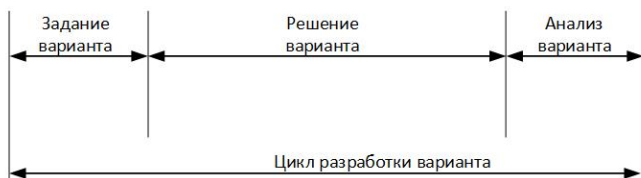


Рис. 4. Структура цикла разработки варианта решения

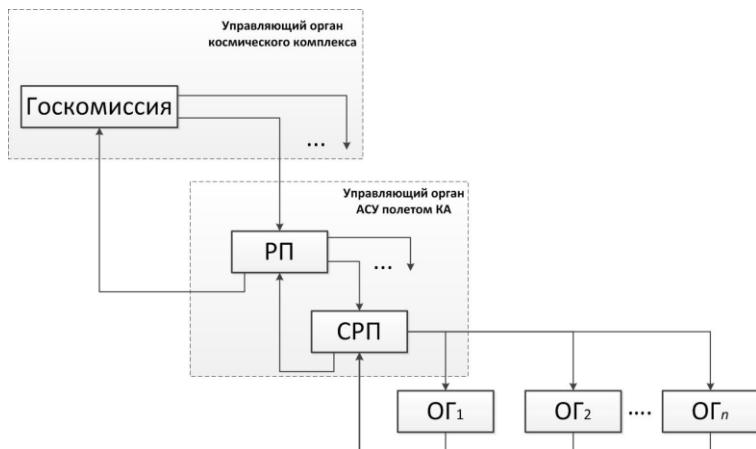


Рис. 5. Организация выработки решений в процессе управления полетом. РП – руководитель полета; ОГ – оперативная группа

### Литература

1. Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полетами: учеб. пособие: в 2 ч. / под общ. ред. Л.Н. Лысенко / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
2. Кравец В.Г., Любинский В.Е. Основы управления космическими полетами 1983. 224 с.
3. Кравец В.Г. Автоматизированные системы управления космическими полетами. М.: Машиностроение, 1995. 251с.
4. Морозов В.П., Дымарский Я.С. Элементы теории управления ГАП. – Л.: Машиностроение, 1984. - 333 с.

УДК 533.9:629.7.001.5  
eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Васильев М.М.**  
**Vasiliev M.M.**

доктор физико-математических наук  
заместитель директора ОИВТ РАН, г. Москва

**Дьячков Л.Г.**  
**Dyachkov L.G.**

доктор физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник ОИВТ РАН, г. Москва

**Лисин Е.А.**

**Lisin E.A.**

кандидат физико-математических наук  
заведующий лабораторией  
ОИВТ РАН, г. Москва

**Петров О.Ф.**

**Petrov O.F.**

академик РАН, директор ОИВТ РАН  
ОИВТ РАН и МФТИ, г. Москва

**Савин С.Ф.**

**Savin S.F.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник  
ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

**Чурило И.В.**

**Churilo I.V.**

кандидат технических наук  
главный специалист  
ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

**ЛАБОРАТОРИЯ НА РОС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ  
АКТИВНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД И СИСТЕМ  
В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ**

**LABORATORY ON ROS FOR INVESTIGATING  
OF ACTIVE DISPERS MATTER AND SYSTEMS  
IN THE MICROGRAVITY CONDITIONS**

**Аннотация.** В работе обсуждается использование РОС, как перспективной лаборатории для изучения систем активных дисперсных частиц в коллоидных средах в условиях пониженной гравитации. Разработаны схемы проведения экспериментов по изучению систем частиц в газоразрядной плазме, плотных и разрежённых газах, а также в жидкостях. Планируется исследование влияния на коллоидные системы электрических и магнитных полей, ультразвука, лазерного излучения. Условия микрогравитации на РОС позволят исключить седиментацию дисперсных частиц и провести исследования недоступные в наземных лабораторных экспериментах. Такие работы важны как для фундаментальной науки, так и для её практических приложений.

**Ключевые слова:** РОС, космическая лаборатория, микрогравитация, активные дисперсные частицы, открытые диссипативные системы, электрические и магнитные поля.

**Abstract.** In work possibility of studying of systems of active disperse particles on ROS is discussed. Schemes of carrying out of experiments on studying of systems of particles in gas-discharge plasma, the dense and rarefied gases, and also in liquids are developed. Influence on systems electric and magnetic fields, ultrasound, laser radiation will be studied. Microgravity conditions on ROS will allow to exclude sedimentation of disperse particles and to conduct researches inaccessible in land laboratories. These experiments are important both for fundamental science, and for its practical using.

**Keywords:** ROS, space laboratory, microgravity, active disperse particles, open dissipative systems, electric and magnetic fields.

Космическая станция РОС представляет уникальную возможность проводить исследования дисперсных систем в условиях микрогравитации [1]. Уникальные возможности РОС позволят исключить гравитационную седиментацию дисперсных частиц и выполнить исследования недоступные в наземных лабораториях. ОИВТ РАН в рамках сложившейся кооперации с организациями космической отрасли, ВУЗами и предприятиями промышленности выступает с предложением организовать на борту РОС космическую лабораторию для изучения систем активных броуновских частиц в различных средах (газах, жидкостях, газоразрядной плазме) и вакууме.

Возможности космической станции РОС могут быть эффективно использованы для проведения космических экспериментов, а также развития и расширения актуальных инновационных исследований в области физики активной материи, популяризации космических исследований и использования их в образовательном процессе.

На орбитальной станции «Мир» были выполнены приоритетные эксперименты серии «Плазменный кристалл» эти эксперименты были продолжены на РС МКС.

На РС МКС выполнены оригинальный эксперимент «Кулоновский кристалл», ведется подготовка экспериментов «Кулон-магнит», «Кулон-плазма», эксперимент «Пыль-УФ» будет выполнен в открытом космическом пространстве с использованием космического корабля «Прогресс».

С учётом полученных знаний и опыта эти исследования предлагается продолжить на РОС в *лаборатории активных дисперсных сред* (ИАДС).



Исследования систем активных броуновских частиц в различных средах: криогенных и классических коллоидах, аэрозолях, плазме ведётся во многих научных лабораториях [2-5]. Интерес к таким дисперсным системам вызван тем, что они, как и большинство объектов в природе, являются открытыми диссипативными системами. Большинство этих исследований проводится в условиях нормальной земной гравитации. Сила тяжести оказывает существенное влияние на динамику дисперсных частиц в разряженной газовой среде, плазме и жидкости, поэтому большой интерес представляет проведение аналогичных экспериментов в условиях ослабленной гравитации.

Условия микрогравитации позволяют исключить седиментацию частиц и изучать системы в течение длительных промежутков времени недоступных в наземных условиях.

В подготавливаемых экспериментах планируется проводить исследования активных броуновских частиц, которые способны преобразовывать энергию, получаемую извне, в собственную кинетическую энергию (не теплового) движения [6]. Эксперименты с активными дисперсными частицами важны не только для фундаментальной науки, но также имеют и перспективы практического применения – в таких технологиях как разрушение вредных веществ в окружающей среде, контроль потоков вещества в миниатюрных устройствах типа «lab-on-chip», в адресной доставке лекарств и многих других областях

В наземных условиях нетрудно организовать эксперименты в условиях повышенной гравитации  $g > g_0$ , например, используя различные центрифуги, но практически невозможно проведение длительных сеансов экспериментов в промежуточной области силы тяжести  $0 < g < g_0$ . Это затрудняет моделирование в наземных лабораториях различных физических, химических и биологических процессов, происходящих на Луне ( $g_L \sim g_0/6$ ) и Марсе ( $g_M \sim g_0/3$ ). В ЛАДС планируется использовать разрабатываемую компактную центрифугу, которая позволит проводить исследования различных процессов в этом промежуточном диапазоне значений сил гравитации.

Использование РОС, как перспективной лаборатории для изучения систем активных дисперсных частиц в коллоидных средах в условиях пониженной гравитации позволит выполнить пионерские фундаментальные исследования и получить результаты мирового уровня с перспективными практическими приложениями.

## Литература

1. Фортов В.Е., Морфилл Г.Е., ред. Комплексная и пылевая плазма из лаборатории в космос. М.: Физматлит, 2012.
2. Ebeling W. Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen: Eine Einführung in die Theorie dissipativer Strukturen. – BSB Verlagsgesellschaft, 1976.
3. Klimontovich Y.L. Introduction to the physics of open systems. Moscow: Yanus-K, 2002.
4. Petrov O.F. et al. Active Brownian motion of strongly coupled charged grains driven by laser radiation in plasma // Scientific reports, 2022, V.12, pp. 8618.
5. Petrov O.F. et al. Experimental evolution of active Brownian grains driven by quantum effects in superfluid helium // Scientific reports, 2022, V.12, I.1, pp. 6085.
6. Bechinger C., et al. Active Particles in Complex and Crowded Environments // Reviews of modern physics, V.88, 2016.

УДК 629.7.018.2

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Киселева Е.К.**

**Kiseleva E.K.**

техник 1 категории

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

**Бычков Р.С.**

**Buchkov R.S.**

инженер 1 категории, аспирант

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

**Борzych С.В.**

**Borzykh S.V.**

доктор технических наук, профессор

главный эксперт

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ СТВОРОК ОБТЕКАТЕЛЯ ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ В УСЛОВИЯХ НАЗЕМНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ

## MODELING OF THE PROCESS OF SEPARATING THE FAIRING FLAPS OF A MANNED TRANSPORT SPACESHIP UNDER CONDITIONS OF GROUND EXPERIMENTAL WORKING

**Аннотация.** Предложена модель, описывающая движение створок обтекателя пилотируемого транспортного корабля в процессе отделения на различных этапах наземной экспериментальной отработки. Разработан алгоритм определения диапазона возможных значений суммарного момента сопротивления развороту створки и усилия расстыковки отрывной платы. Выявлен эффект взаимного перекрёстного влияния параметров движения отдельных створок, связанных между собой посредством трехстропной чалки, предложены меры для его минимизации. Приведены расчетные данные, содержащие предполагаемые области разбросов измеряемых параметров, предусмотренных программой испытаний.

**Ключевые слова:** створки обтекателя, процесс отделения, экспериментальная отработка, динамическая модель.

**Abstract:** A model describing the movement of the fairing flaps of a manned transport spaceship in the process of separation at various stages of ground experimental testing is proposed. An algorithm has been developed for determining the range of possible values of the total moment of resistance to the flap reversal and the separation force of the detachable board. The effect of mutual cross-influence of the movement parameters of individual flaps was revealed connected to each other by means of three-line chain, measures have been proposed to minimization it. The calculated data containing the estimated areas of variation of the measured parameters provided for in the test program.

**Keywords:** fairing flaps, separation process, experimental testing, dynamic model.

Процессы отделения – одна из ключевых динамических операций во время полета ракетно-космических систем. Нештатное функционирование или отказ элементов систем отделения приводит, как правило, к возникновению аварийных ситуаций, и как следствие, невыполнению программы полета [1]. В связи с этим осуществляется экспериментальная отработка процессов отделения на специально

создаваемых стендах [1,2]. В процессе отработки подтверждается надежность срабатывания элементов систем разделения и отделения (замков продольного и поперечного стыка створок, толкателей и т.д.), экспериментально определяются усилия расстыковки разрывных элементов, подтверждается достаточность зазоров между зоной полезного груза и конструкцией створок, фиксируются кинематические параметры створок (зависимости по времени углов и угловых скоростей).

Однако, при наземной экспериментальной отработке не удастся в полной мере воспроизвести реальные полетные условия, например такие, как угловую скорость ракеты-носителя на момент начала отделения створок, а также перегрузку, которая в полете может существенно отличаться от единицы. Это приводит к необходимости не только экспериментального, но и расчетного подтверждения реализуемости процесса, для чего требуется разработка соответствующей динамической модели процесса отделения створок, в максимальной степени учитывающей как внешние условия протекания процесса, так и собственные свойства створок. Поэтому одной из целей наземной экспериментальной отработки является верификация динамической модели процесса, которая в этом случае адаптируется к условиям наземной отработки.

Первоначально осуществляется определение суммарного момента сопротивления развороту изолированной створки и усилие расстыковки разрывной платы. Разворот створки на угол  $20^{\circ} \div 25^{\circ}$  осуществляется за счет подъема крюка мостового крана, соединенного со створкой тросом. Момент сопротивления развороту и усилие расстыковки разрывной платы определяется по показаниям тензорезисторного датчика, которым снабжен трос. Анализ результатов серии имитационных расчетов выявил четкую корреляционную зависимость между максимальным значением усилия натяжения троса  $T_{\text{трос MAX}}$  и моментом сопротивления развороту  $M_{\text{сопр}}$ . На рис.1 представлена такая зависимость, полученная при номинальных характеристиках створки и элементов технологической оснастки.

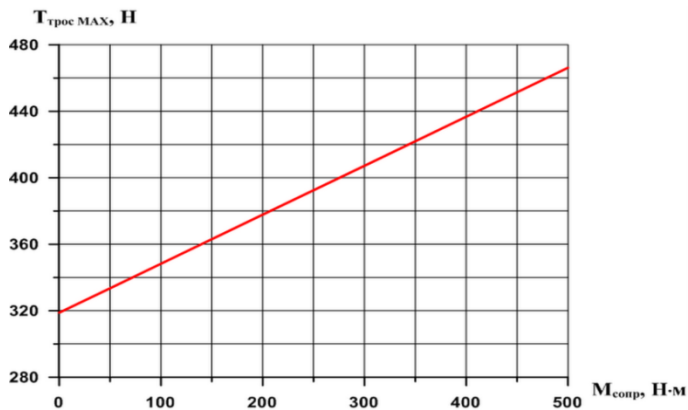


Рис. 1. Зависимость  $M_{сопр}$  от  $T_{трос MAX}$

Однако, на величину  $T_{трос MAX}$  могут влиять возможные отклонения инерционных и центровочных характеристик створки, коэффициентов жесткости и вязкости троса. Поэтому для определения рабочего диапазона значений  $M_{сопр}$ , был проведен статистический расчет в области возможных отклонений вышеупомянутых параметров с целью получения функции распределения максимального усилия натяжения троса. Расчет показал, что диапазон  $\Delta T$  возможного изменения значений  $T_{трос MAX}$  слабо зависит от исходного значения  $M_{сопр}$  (в разумных пределах). Так, например, для двух значений  $M_{сопр}$  равных 50 Н·м и 100 Н·м диапазон  $\Delta T$  с вероятностью  $0 \leq p \leq 1$  составит соответственно 27,55 Н и 27,66 Н.

На следующем этапе осуществляется одновременный разворот всех трех створок после штатного срабатывания рычажных замков, освобождающих створки, путем использования трёхстропной чалки, соединяющей створки с крюком мостового крана (рис.2).

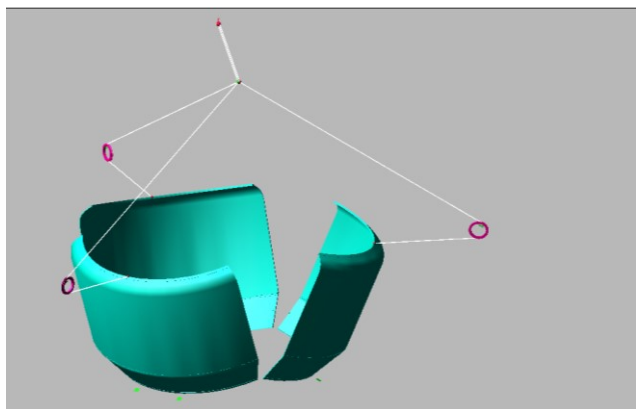


Рис.2. Разворот трех створок с использованием трёхстропной чалки

Целью этого этапа является, в основном, подтверждение надежности раскрытия стыков створок (срабатывания замков и толкателей). Даже при незначительных отклонениях значений инерционных и центровочных характеристик створок наблюдается ярко выраженный эффект взаимного перекрёстного влияния параметров движения отдельных створок, связанных между собой посредством трёхстропной чалки. В связи с этим предлагается ограничить угол отклонения створок значением  $\varphi \approx 5^\circ \div 6^\circ$ , что вполне достаточно для отработки и подтверждения работоспособности конструктивного исполнения продольных стыков створок.

Финальный этап испытаний является имитацией штатного отделения створок в условиях наземной отработки, которая существенно отличается от штатного отделения. Створки после разрыва связей совершают свободное движение и улавливаются растянутым сетеполотном, при этом регистрируются кинематические параметры створок и производится киносъемка процесса. Предварительные расчеты позволяют определить траектории разлета створок и подобрать необходимые параметры (размеры и прочность) сетеполотна. Результаты этих испытаний могут служить основанием для сертификации расчетной динамической модели процесса отделения створок путем проведения сравнительного анализа экспериментальных и расчетных параметров процесса отделения.

## **Литература**

1. Колесников К.С., Кокушкин В.В., Борзых С.В., Панкова Н.В. Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет (изд.2-е, переработанное и дополненное). Красноярск: Изд-во Сибирского аэрокосмического университета, 2011. - 340 с.
2. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Бычков Р.С., Терешина К.В. Анализ возможностей и ограничений наземной экспериментальной отработки процессов трансформации ракетно-космических конструкций // Инженерный журнал: наука и инновации. Раздел: Научные конференции. 2022. № 5. С. 102-107.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Бычков Р.С.**

**Buchkov R.S.**

инженер 1 категории, аспирант

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

**Борзых С.В.**

**Borzykh S.V.**

доктор технических наук

профессор, главный эксперт

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев

## **ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА МЯГКОЙ ПОСАДКИ ЛУННОГО ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОГО КОМПЛЕКСА С ПОСАДОЧНЫМ УСТРОЙСТВОМ ПРУЖИННО-РЫЧАЖНОГО ТИПА**

## **AN APPROACH TO MODELING THE SOFT LANDING PROCESS OF A LUNAR RUNWAY COMPLEX WITH A SPRING-LEVER-TYPE LANDING GEAR**

**Аннотация.** Рассмотрена динамика посадки лунного взлетно-посадочного комплекса, снабженного оригинальным посадочным устройством, при его взаимодействии с лунной поверхностью. Разработана математическая модель процесса, основанная на использовании общих теорем динамики и записи специальных уравнений связей, отражающих конструктивные особенности посадочного устройства. Возможности метода проиллюстрированы конкретным примером, характерным для штатной посадки.

**Ключевые слова:** лунный взлетно-посадочный комплекс, динамика движения, механические связи, посадочное устройство.

**Abstract.** The dynamics of landing of the lunar runway complex, provided with the original landing gear, when it interacts with the lunar surface, are considered. The mathematical model of the process, based on the use of general theorems of dynamics and writing of special constraint equations, reflecting the design features of the landing gear, is developed. The capabilities of the method are illustrated with a specific example typical for the normal landing.

**Keywords:** lunar runway complex, motion dynamics, mechanical connections, landing gear.

Рассматривается расчетная модель для анализа динамики движения лунного взлетно-посадочного комплекса (ЛВПК), начиная с момента первого контакта его посадочного устройства (ПУ) с посадочной поверхностью до состояния полного покоя.

Процесс посадки является одной из ключевых фаз функционирования ЛВПК, поскольку отказ ПУ (полный либо частичный) практически однозначно приводит к возникновению аварийной ситуации с катастрофическими последствиями для экипажа. Посадка является конечным этапом спуска ЛВПК, в конце которого формируются начальные условия для непосредственно контакта с посадочной поверхностью – остаточные линейные и угловые скорости ЛВПК, величина которых обусловлена точностью работы системы управления спуском и применяемыми способами торможения. Таким образом, остаточная энергия ЛВПК должна быть погашена непосредственно в процессе взаимодействия ПУ с грунтом лунной поверхности.

При анализе процесса мягкой посадки с целью выбора типа и конкретных характеристик посадочного устройства необходимо учитывать, что требуется не только обеспечить гашение остаточной кинетической энергии аппарата, но и выполнить ряд требований, а именно: непревышение перегрузкой определенных предельных значений (для выживания экипажа, сохранности приборов и аппаратуры); обеспечение определенного минимального клиренса; отсутствие опрокидывания; обеспечение такой ориентации ЛВПК в момент полной остановки, при которой возможно продолжение миссии [1].

Рассматриваемое ПУ состоит из четырех посадочных опор, каждая из которых содержит амортизирующую стойку и опорную тарель, непосредственно контактирующую с поверхностью (рис. 1).



Рассматривается следующая структура механической системы: корпус ЛВПК, 4 опоры, каждая из которых содержит 3 амортизатора, один из них (основная стойка) крепится одним концом к корпусу, а другим – к тарели, непосредственно контактирующей с грунтом. Стойка состоит из стакана и штока, внутри стакана находится энергопоглотитель, чаще всего выполненный в виде сминаемых сот [1]. Кроме стойки, опора содержит два подкоса, также состоящие из стакана и штока. Штоки подкосов соединены с корпусом и со штоком основной стойки (рис.1).

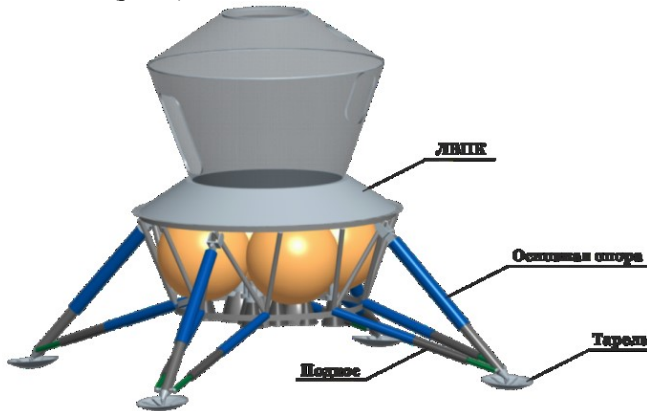


Рис.1. ЛВПК и конструкция опоры его посадочного устройства

Авторами для ряда других задач, таких, например, как моделирование процессов разделения ступеней ракет [2], трансформации крупногабаритных конструкций [3], использовался подход, при котором отдельные тела механической системы рассматриваются как свободные, а действие связей заменяется соответствующими силами реакций связей и моментами. Такой подход представляется продуктивным и для данной задачи. Для каждого тела (корпуса ЛВПК, тарелей, подкосов, цилиндров и штоков) записываются уравнения движения центров масс (в инерциальной системе координат) и вращения относительно центров масс (в связанных системах координат тел):

$$m_i \vec{a}_i = \vec{F}_i, \quad (1)$$

$$\left[ J_i \right] \vec{\varepsilon}_i + \vec{\omega}_i \times \left( \left[ J_i \right] \vec{\omega}_i \right) = \vec{L}_{Oi}, \quad (2)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го тела;

$[J_i]$  – его тензор инерции;

$\bar{a}_i$  - ускорение центра масс;

$\varepsilon_i$  - угловое ускорение;

$\vec{F}_i, \vec{L}_{oi}$  - соответственно главные вектора сил и моментов сил относительно центров масс, включая силы и моменты реакций связей.

Помимо сил тяжести и сил реакций связей, в выражения главных векторов сил и моментов входят: для корпуса ЛВПК – силы тормозных или прижимных двигателей (в случае их наличия); для цилиндра и штока – сила амортизатора, для тарели – сила взаимодействия с грунтом.

Уравнения движения (1), (2) не могут быть сразу проинтегрированы, поскольку, кроме вышеперечисленных силовых факторов, в них входят неизвестные силы и моменты реакций связи. Для определения реакций связи в точках контакта корпус ЛВПК – цилиндр, цилиндр – шток, шток – тарель и т.д. записываются дополнительные уравнения связи. Вид и структура уравнений связей определяется конкретным характером связи (ограничениями на взаимное перемещение тел, на которые данная связь наложена.) Система уравнений связей решается совместно с системой уравнений движения (1), (2) численными методами.

В качестве иллюстрации изложенного подхода рассмотрен процесс посадки ЛВПК на посадочную поверхность без локальных бугров и впадин. В течение всего времени процесса (от первого контакта тарели с посадочной плоскостью) отслеживалась вертикальная перегрузка, действующая вдоль продольной оси ЛВПК, которая не должна превышать предельно допустимого значения в 8 единиц. При определении максимальной перегрузки игнорировались отдельные пиковые выбросы длительностью менее 30 мс.

Начальными условиями для расчета посадки являлись вертикальная скорость снижения ЛВПК, горизонтальная скорость, угловая скорость относительно любой из его осей, угловое отклонение продольной оси ЛВПК от вертикали.

Перегрузка (рис. 2) при рассматриваемых начальных параметрах не превышает допустимых границ [4]. В начальный момент касания перегрузка имеет максимальное значение – первый выброс, затем затухающие колебания как следствие работы ПУ.

### **Выводы**

Разработан подход к моделированию процесса мягкой посадки лунного взлетно-посадочного комплекса, снабженного оригинальным посадочным устройством. Предложенная модель позволяет решать

оптимизационные задачи выбора энергетических характеристик демпфирующих элементов посадочного устройства, минимизировать перегрузки, анализировать безопасность процесса посадки на участке контакта опор посадочного устройства с грунтом. Подход к реализации моделирования имеет очевидную область применения, поскольку позволяет вносить изменения в топологию механической системы, при этом появляется возможность проводить сравнительный анализ разных схем механических посадочных устройств.

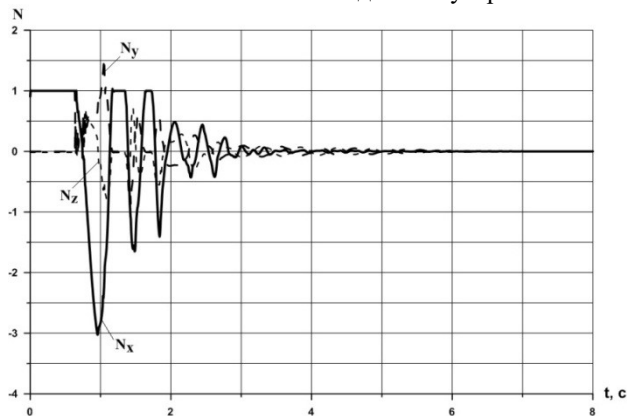


Рис. 2. Перегрузка ЛВПМ:  $N_x$  – перегрузка, действующая на корпус вдоль продольной оси;  $N_y$ ,  $N_z$  – поперечные перегрузки

### Литература

1. Баженов В.И., Осин М.С. Посадка космических аппаратов на планеты. М.: Изд-во Машиностроение, 1978. 159 с.
2. Колесников К.С., Кокушкин В.В., Борзых С.В., Панкова Н.В. Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет (изд.2-е, переработанное и дополненное). Красноярск: изд-во Сибирского аэрокосмического университета, 2011. 340 с.
3. Борзых С.В., Левитская Ю.Ю., Щиблев Ю.Н. Подход к моделированию динамики раскрытия крупногабаритных солнечных батарей космического аппарата // Космическая техника и технологии. 2019. №.1 (24). С.95-106.
4. Рабинович Б.А. Безопасность человека при ускорениях. М.: Изд-во «Книга и бизнес», 2007. -208 с.

**Гусев А.В.**

**Gusev A.V.**

кандидат физико-математических наук, доцент  
Казанский федеральный университет (КФУ), г. Казань

**Менг Ж.**

**Meng Zh.**

доцент

Цилинский университет, Китай

**Пинг З.**

**Ping Z.**

профессор

Национальная астрономическая обсерватория, Китай

### **СТРОИТЕЛЬНО-ПРОРЫВНОЕ ОСВОЕНИЕ ЛУНЫ VIII: 3D ПЕЧАТЬ НА ЛУНЕ**

### **CONSTRUCTION-BREAKTHROUGH DEVELOPMENT OF THE MOON VIII: 3D PRINTING ON THE MOON**

**Аннотация.** В обзоре обсуждаются научно-технические, инфраструктурно-прорывные, промышленно-строительные проблемы освоения Луны.

**Ключевые слова:** Луна, развитие, индустриальные проблемы, энергетика, лёд, реголит, Гелий-3.

**Abstract.** The review discusses scientific-technical, infrastructural - breakthrough, industrial-construction problems of lunar exploration

**Keywords:** Moon, development, industrial problems, energy, ice, regolith, Helium-3.

Планы Китая и России по освоению Луны включают 3D-печать строительных кирпичей из лунного грунта. Китай намерен протестировать печать кирпичей из лунного грунта в ближайшее годы, что станет шагом на пути к созданию базы на Луне [1 - 3].

В настоящее время Китай работает над следующим пакетом лунных миссий, включая Chang'E- 6, которая соберет первые образцы с обратной стороны Луны в июне 2024 году, а также многоцелевой проект Chang'E-7, запуск которого запланирован на 2026 год и который будет искать ледяную воду в затененных кратерах Луны. Космический корабль «Chang'E-8,», который должен приземлиться на

Луне в 2028 году, заложит основу для более крупного проекта ILRS, которую Китай планирует построить в 2030-х годах. ILRS будет состоять из посадочного модуля, обитаемого бункера, орбитального аппарата, лунохода и будет включать в себя испытание первых прорывных технологий использования лунных ресурсов на поверхности Луны. Для энергоснабжения китайско-российской лунной базы будет использоваться ядерная установка [3].

Миссия Китая Chang'E-8 запланирована на 2028 году и, помимо посадки на Луну, может включать испытания по использованию ресурсов, найденных на лунной поверхности. Китайские ученые подтверждают, что они изучают возможность 3D-печати строительных блоков из материалов, найденных на лунной поверхности. Дин Лиюйнь, ученый из Университета науки и технологии Хуацзун, представил прототип шестиногого робота, напоминающего насекомое, который назвал «супер-каменщиком» [4].

В итоге строительство жилищ за пределами Земли имеет жизненно важное значение не только для стремления всего человечества к исследованию Луны, но и для стратегических нужд Китая как космической лунной державы. Если эти строительные технологии подтвердят свою эффективность, то они будут использованы для строительства Международной лунной исследовательской станции (ILRS), которую Китай и РФ начнут сооружать с 2030-х годов [3].

3D-печать для космической лунной строительной деятельности рассматривается и тестируется уже многих лет: Китай, Россия, США и ЕС работают над изготовлением лунных блоков из **аналогов лунного реголита**. 3D-печать для космической деятельности рассматривается и испытывается уже много лет: Европейское космическое агентство (ЕКА) работает над производством строительных кирпичей из имитатора лунного грунта, а Airbus готовится отправить металлический 3D-принтер на МКС. Такие возможности означают, что строительные блоки могут быть произведены на Луне, а не доставлены с Земли, что значительно снизит их себестоимость [3].

Строительство лунной базы - это стратегический вызов человечеству Земли. Чтобы избежать транспортировки тяжелых строительных материалов с Земли на Луну, ученые разрабатывают возможность использования лунного реголита в работе мощных 3D-принтерах. Они будут иметь возможность печатать строительные блоки непосредственно на месте - так называемое аддитивное производство. Профессор Росс Фрил из Университета Хальмстада руководит командой исследователей, работающих над автономным аддитивным производством (также называемым 3D-печатью), которое

можно и нужно использовать на Луне и исследования планет солнечной системы. Со слов Росса Фрила, экономически и технически выгодно использовать Луну в качестве стартовой площадки из-за ее слабой гравитации, чрезвычайно прозрачной атмосферы и абсолютно чистого астрономического наблюдательного неба, а также из-за способности использовать водород и кислород, полученного от лунного льда, для ракетного топлива. Строительный лунный материал должен выдерживать и защищать астронавтов от вредоносного космического излучения и мелких метеороидов [5].

Расплавив изначальный строительный материал на Земле, обладающий свойствами лунного реголита, можно печатать различные типы текстур с помощью специально разработанного 3D-принтера: а) компактные кубики, б) структура потенциального фильтра, в) винт и гайка, показывающие точность печати, и г) строительный блок в форме кусочка головоломки в качестве первого шага к взаимосвязанным компонентам здания для создания компактных материальных структур прямо на Луне [5].

В ближайшее время ученые продолжат разработку строительных технологий для автономного 3D-принтера, способного эффективно функционировать на Луне. Они будут ужесточать параметры наземных испытаний, чтобы имитировать точнее условия на поверхности Луны: а) при сверхвысоком вакууме и б) подвергать земной имитатор лунного реголита воздействию космической радиации и с) высокоскоростных столкновений с объектами, имитирующие малоразмерные метеориты [5].

В России самарские ученые ведут работы над опытным образцом гелиолитографа – 3D-принтера для печати песком с помощью солнечного света. Аппарат задуман в качестве аддитивной установки для производства элементов строительных конструкций на Луне. Работы над гелиолитографом ведутся в рамках давнего соглашения между НПО имени С.А. Лавочкина и Самарским государственным техническим университетом (СамГТУ). Технологическая идея самарчан заключается в послойном спекании песка, то есть общий принцип работы аналогичен установкам селективного лазерного спекания, но вместо земных полимеров или металло-порошковых композиций планируется использовать лунный реголит, а вместо лазеров – энергию Солнца. Аппарат представляет собой станок с ЧПУ и четырьмя зеркалами, фокусирующими солнечный свет в одной точке. Позиционирование осуществляется перемещением платформы с расходным материалом в трех плоскостях [6].

В поверхностном слое лунного грунта (реголита) накоплен редкий на Земле изотоп Гелий-3, который может использоваться в качестве топлива для перспективных термоядерных реакторов на Земле. Глубокий вакуум и наличие дешёвой солнечной энергии открывают новые горизонты для электроники, литейного производства, металлообработки и материаловедения на Луне. Луна, благодаря своим впечатляющим ландшафтам и экзотичности, будет привлекательным объектом и для туристов.

Когда дело дойдет до масштабной колонизации Луны и Марса, 3D-печать будет использоваться для строительства дорог и сооружений с использованием их грунта и реголита. Это исключило бы дорогостоящий и длительный процесс доставки земных материалов на Луну и Марс. Промышленные партнеры, включая архитекторов Foster + Partners, объединились с ESA, чтобы проверить возможность 3D-печати с использованием аналогов лунного грунта [7].

### Литература

1. Tang T., Meng Z.G., Lian Y., Wei Xh., Dong X., Wang Y., Cai Zh., Zhang X.P., Gusev A.V., Zhang Y.Z. Extracting Mare-like Cryptomare Deposits in Cryptomare Regions Based on CE-2 MRM Data Using SVM Method // Remote Sens. 2023, 15, 2010. <https://doi.org/10.3390/rs15082010>.
2. Meng Z.G., Tang T.Q., Dong X.G., Gusev A.V. Analyzing the microwave thermal emission features of lunar regolith in Chang'E landing sites and its geologic significance // SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica, 2023, Vol. 53, Issue 3: 239609, 1-17pp., (Chinese). <https://doi.org/10.1360/SSPMA-2022-0303>.
3. Гусев А.В., Менг Ж., Пинг Цз. Геологическое освоение Луны IV: Вода и загадка теплового бюджета ранней Луны // Труды 57-ых Научных чтений памяти К. Э. Циолковского. РАН - РАКЦ. Секция «Современные проблемы ракетной и космической техники» (г. Калуга, 20-22 сентября 2022г). Казань: РИЦ «Школа», 2023. С.233-248.
4. Китайский шестиногий робот для Луны. <https://shazoo.ru/2023/04/19/142439/plany-kitaia-po-osvoeniuu-luny-vkliucait-3d-pecat-kirpicei-iz-lunnogo-grunta>.
5. 3D принтер для печати лунной базы из лунного реголита. <https://new-science.ru/3d-printer-dlya-pechati-lunnoj-bazy-iz-lunnoj-pyli/>
6. Ученые из Самары создают 3D-принтер для строительной «печати» российской базы на Луне. <https://ria.ru/20161122/1481900131.html>.

7. Немецкие ученые опробуют лазерную 3D-печать на Луне.  
<https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/german-scientists-will-test-laser-3d-printing-on-the-moon>.

УДК 629.78

eLIBRARY: 55.49.29;55.49.31

**Румянцев А.А.**

**Rumiantsev A.A.**

кандидат физико-математических наук  
главный конструктор ОЭС

АО «Научный центр прикладной электродинамики»  
г. Санкт-Петербург

**Кислицкий М.И.**

**Kislitsky M.I.**

кандидат технических наук  
старший научный сотрудник

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова  
г. Санкт-Петербург

**Канцеров А.И.**

**Kantserov A.I.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий инженер

АО «Научный центр прикладной электродинамики»  
г. Санкт-Петербург

**Турковский А.М.**

**Turkovsky A.M.**

кандидат технических наук  
заведующий кафедрой

Михайловская Военно-артиллерийская академия  
г. Санкт-Петербург



# ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

## ULTRA-HIGH-RESOLUTION OPTICAL-ELECTRONIC COMPLEX BASED ON ADAPTIVE OPTICS AND PROSPECTS OF ITS USE FOR SPACE REMOTE SENSING THE EARTH

**Аннотация.** Приведены результаты оценки возможности создания отечественного бортового оптико-электронного комплекса (ОЭК) сверхвысокого (0,2-0,5 м) разрешения нового поколения на основе технологии адаптивной оптики. Они подтверждают возможность создания такого ОЭК с массой, в несколько раз меньшей чем у существующих космических ОЭК аналогичного назначения, построенных на традиционных принципах. Оценены основные проблемы создания ОЭК. Рассмотрены перспективы использования КА в составе космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности, малых КА.

**Ключевые слова:** оптико-электронный комплекс, сверхвысокое разрешение, дистанционное зондирование Земли, малый космический аппарат, орбитальная группировка.

**Abstract.** The results of the assessment of the possibility of creating a domestic on-board optoelectronic complex (OEC) of ultrahigh (0.2-0.5 m) resolution of a new generation based on adaptive optics technology are presented. They confirm the possibility of creating such an OEC with a mass several times less than that of existing space OEC of a similar purpose, built on traditional principles. The main problems of creating an OEC are assessed. The prospects of using spacecraft as part of spacecraft for remote sensing of the Earth, in particular, small spacecraft, are considered.

**Keywords:** optical-electronic complex, ultra-high resolution, remote sensing of the Earth, small spacecraft, orbital constellation.

Современные ОЭК обеспечивают данными ДЗЗ широкий спектр потребителей. Наиболее информативные данные поставляют КА с ОЭК сверхвысокого разрешения (СВР) на борту. Современные ОЭК СВР имеют большую массу, габариты и, соответственно, высокую стоимость - как российские (КА типа "Ресурс"), так и зарубежные (КА типа WorldView, Hubble, GeoEye). Вследствие высокой стоимости КА и высоких затрат на их выведение на орбиту даже ведущие

космические державы могут позволить себе иметь на орбитах лишь единичные образцы КА этого типа. В результате достигнутая на практике периодичность наблюдения земной поверхности со сверхвысоким разрешением недостаточна для решения целого ряда важных задач.

Нами предложен проект инновационного ОЭК СВР на основе технологии адаптивной оптики. Данная технология (по данным из открытой печати) на практике применялась в космической технике только при создании уникального крупногабаритного астрономического космического телескопа James Webb (США) [1].

Мы предлагаем использовать эту технологию для решения задач ДЗЗ. Условия работы ОЭК при этом являются в некоторых отношениях более сложными чем у ОЭК астрономического назначения. Предлагается создать складной телескоп со складным главным зеркалом, которое будет разворачиваться в космосе. Реализация этой идеи позволит создавать ОЭК СВР с массой, в 4-5 раз меньшей чем у аналогичных существующих и разрабатываемых изделий, что явится прорывным результатом. Кроме того, за счет использования складного зеркала значительно сократятся габариты ОЭК в транспортном положении (при выведении на орбиту).

ОЭК использует оптическую схему Корша. Проработаны два основных варианта (табл. 1). Разрешающая способность приведена в панхроматическом режиме. Высота орбиты КА принята равной 510 км. Ширина полосы обзора 50 км. Отметим, что планируется съемка данным ОЭК не только в видимом, но и в инфракрасном диапазоне электромагнитного излучения.

Таблица 1 – Результаты оценки основных характеристик ОЭК

	Диаметр главного зеркала, м	Разрешающая способность, м	Масса ОЭК, кг
Вариант 1	1,225	0,3	110
Вариант 2	3,5	0,15	350

По предварительной оценке, первый вариант может быть реализован при общей массе КА до 500 кг. Согласно общепринятой классификации, такой МКА соответствует классу "мини". Второй вариант может быть реализован на более тяжелом КА, а также перспективен для использования в составе Российской орбитальной станции.

Анализ показал, что к числу основных проблем создания ОЭК на основе адаптивной оптики относятся обеспечение высокой точности раскрытия зеркала телескопа в космосе и высокоточного управления формой зеркала в полете. Предварительные проработки показывают, что эти проблемы в настоящее время могут быть решены на основе имеющегося опыта и научно-технического задела разработчиков [2].

Существенное снижение массы и стоимости ОЭК впервые откроет возможность формирования орбитальных группировок КА ДЗЗ сверхвысокого разрешения без увеличения потребных затрат и, следовательно, обеспечит существенное повышение периодичности (частоты) обзора территорий.

Компактные габариты ОЭК в транспортном положении упростят решение задачи группового выведения КА, учитывая ограниченный объем обтекателя ракеты-носителя, при развертывании орбитальных группировок подобных КА.

### **Литература**

1. Acton D.S., Atcheson P., Cermak M., Kingsbury L., Shi F., Redding D.C. James Webb Space Telescope Wavefront Sensing and Control Algorithms // Proceedings of SPIE. Vol. 5487. (12 Oct 2004). <http://doi.org/10.1117/12.551846>.
2. Sechak E.N., Romyancev A.A., Schesnyak S.S., Dubrovich V.K. Alignment algorithm for composite mirrors by the method of moments // IEEE proc. Nov.2020.

УДК 303.732.4

eLIBRARY.RU: 28.29.51

**Кальницкий И.Е.**

**Kalnitskii I.E.**

ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева»

**Пичугин С.Б.**

**Pichugin S.B.**

кандидат технических наук

ведущий научный сотрудник

ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», г. Королев

## ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ МЕЖСПУТНИКОВОГО ТРАКТА

### SELECTION OF OPTICAL MODULATION TECHNOLOGY FOR THE INTERSATELLITE LINK

**Аннотация.** Анализируются возможности перспективных оптических средств для использования в межспутниковых трактах связи. Перечень для анализа включает средства, используемые для пространственного сканирования оптического луча и средства для модуляции оптического сигнала с целью передачи информации. Экспертным методом задан перечень критериев, в соответствии с которым, также экспертным методом, осуществляется выбор средств для условий функционирования выбранного типа космического аппарата. Представлены результаты выбора типов средств оптического тракта, наиболее приемлемых для условий функционирования перспективной орбитальной станции.

**Ключевые слова:** оптическая связь, модуляция, лазер, интерферометр Маха-Цендера, рельефографические модуляторы света.

**Abstract.** The possibilities of promising optical devices for use in inter-satellite communication links are analyzed. The list for analysis includes tools used for spatial scanning of an optical beam and tools for modulating an optical signal in order to transmit information. The expert method sets a list of criteria, according to which, also by the expert method, the selection of devices for the operating conditions of the selected type of spacecraft is carried out. The results of choosing the types of optical link devices that are most acceptable for the operating conditions of a promising orbital station are presented.

**Keywords:** optical communication, modulation, laser, Mach-Zehnder interferometer, relief light modulators.

Межспутниковая связь на сегодняшний день является актуальной темой в России и за рубежом ввиду того, что с её помощью удаётся существенно ускорить доставку информации наземных, а также космических абонентов. Применение оптических средств является перспективным направлением развития межспутниковой связи. Эффективность использования средств оптической связи на борту космического аппарата обуславливается учетом особенностей его функционирования и применения, такими как, эффект Доплера, изменение межспутниковой дальности, скачкообразное изменение трафика при пролёте над различными зонами Земли, а также

специфическими требованиями обитаемых и беспилотных космических средств.

При выборе средств оптической связи для космического аппарата следует руководствоваться набором критериев, которые выбираются на основе особенностей его функционирования. Таким образом формулируется научная задача обоснования выбора заданных средств оптической связи на базе заданного множества критериев, соответствующих особенностям функционирования космического аппарата. Ввиду многофакторности обеих задач - задачи определения перечня критериев выбора и задачи выбора конкретного средства для применения по одному из предназначений - пространственному сканированию или передаче информации по установленному соединению, выбран метод экспертного опроса профильных специалистов с последующей обработкой полученных данных инструментарием статистического анализа.

В числе известных на сегодняшний день средств, обеспечивающих пространственное сканирование оптическим лучом, можно привести следующие [1, 2]:

- рельефно-фазовые или рельефографические модуляторы света (LMR);
- микрозеркальные модуляторы света (DMD);
- жидкокристаллические модуляторы света (LCos).

Для передачи информации на настоящий момент известны средства, основанные на следующих способах модуляции электромагнитных волн оптического диапазона [3]:

- модуляция на основе электрооптического эффекта Керра;
- модуляция на основе электрооптического эффекта Погкельса;
- модуляция на основе интерферометра Маха-Цендера;
- модуляция на основе акустооптического эффекта;
- модуляция на основе электроабсорбционного эффекта Франца-Келдыша;
- модуляция на основе магнитооптического эффекта Фарадея.

Набор критериев для оценки применимости тех или иных средств, обеспечивающих связь в межспутниковом тракте космического аппарата, определялся экспертным методом. В соответствии с данным методом был определен тип космического аппарата – орбитальная станция, и определены условия, соответствующие ее функционированию. В результате был определен следующий перечень критериев:

- допустимый сектор сканирования;
- скорость сканирования;

- скорость передачи информации (информативность);
- габариты;
- масса;
- температурный режим;
- простота изготовления и возможности локализации в условиях России.

Выбор каждого из перечисленных критериев объяснялся как соображениями доставки информации, так и соображениями безопасности экипажа перспективной орбитальной станции.

Применяя экспертный метод, удалось обоснованно расставить веса выбранным критериям оценки и ранжировать известные на текущий момент средства пространственного сканирования и передачи информации по возможности применения для межспутникового тракта орбитальной станции. В результате проведенного сравнительного анализа с применением экспертного метода и статистической методики обработки полученных результатов, наивысший ранг был присвоен модуляторам рельефно-фазовому и электрооптическому на основе электроабсорбционного эффекта Франца-Келдыша, обеспечивающим пространственное сканирование и передачу информации, соответственно.

### **Литература**

1. Гушо Ю.П., Гушо М.А., Бурага А.В. Фазовый модулятор света «Рельеф» и его применения // Международная научно-техническая конференция «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике» («МНТК ФТИ-2017»). Сборник научных трудов. Под редакцией Булатова М.Ф. 2017. С. 600–603.
2. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С., Сидоренко В.М., Хатункин В.В. Микрзеркальный модулятор для инфракрасных имитационно-моделирующих стендов // Научный вестник НГТУ. Том 71, № 2, 2018, С. 75–84.
3. Якушенков П.О. Оптические модуляторы света // Фотоника. Том 13 № 6 2019, С. 594 – 602.

УДК: 629,7+004.4  
eLIBRARY.RU: 206641

**Куденко Д.А.**

**Kudenko D.A.**

инженер-технолог

АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»

**Белкин А.А.**

**Belkin A.A.**

кандидат технических наук, начальник отдела  
АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», г. Москва

## **ВОЗМОЖНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

### **POSSIBILITIES TO IMPROVE THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE SPACE ROCKETS PRODUCTION**

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы технологической подготовки производства при использовании современных систем интеграции и работы с документацией на уровне предприятия.

**Ключевые слова:** технологическая документация, PLM-система, технологическая подготовка производства.

**Abstract.** The problems associated with technological preparation of production are considered and a solution based to PLM-software is proposed.

**Keywords:** technological documentation, PLM-software, technological production management.

Производство современных изделий ракетно-космической техники (РКТ) связано с проведением работ с изделиями, состоящими из большого количества деталей и сборочных единиц. Кроме того, зачастую от качества технологической документации, разрабатываемой на этапе подготовки производства, зависит качество конечного изделия. Сложность разрабатываемых изделий и высокая трудоемкость работ по созданию изделий РКТ требуют постоянного повышения качества технологической подготовки производства (ТПП).

При этом, основными проблемами ТПП являются:

– Сложность взаимоувязки большого числа документации, необходимой для производства.

- Длительный процесс согласования документации.
- Низкий уровень автоматизации при работе с документацией.

Для усовершенствования процесса ТПП рассматривается возможность внедрения систем управления жизненным циклом изделия (PLM – Product lifecycle management).

PLM-системы предназначены для управления всем жизненным циклом изделия [2], при этом задачи обеспечения документооборота позволяют решать PDM-системы (Product Data Management), которые имеют связь с CAD и другими системами, показанными на рис. 1.

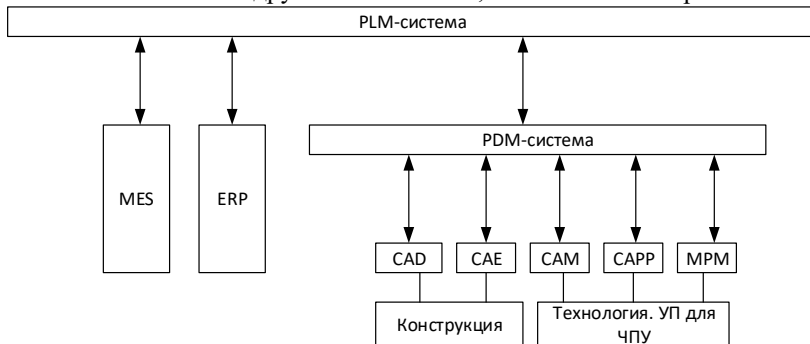


Рис. 1. Взаимосвязь составных частей PLM-системы

PDM-система представляет технологам возможность коллективной работы с документацией, включая конструкторскую, технологическую и нормативно-техническую документацию в электронном формате, позволяет выполнять автоматическое нормирование труда исходя из объема операций, автоматический расчет затрат материалов для выполнения работ по технологическому процессу и др.

При применении PLM-систем предлагается использовать комбинированную схему согласования документации, при которой в подразделения, по статистике выдающие наибольшее количество замечаний, целесообразно направлять документацию в первую очередь, а после их согласования параллельно направлять документацию для дальнейшего согласования и утверждения.

Также для работы с PLM-системой рассматривается возможность внедрения защищенных электронных планшетов, что позволило бы упростить удаленную работу с документацией, по схеме, приведенной на рис. 2.

Отмечено также, что для обеспечения надежного функционирования предлагаемых систем необходима разработка



соответствующих регламентов, стандартов предприятия и прочей руководящей документации.

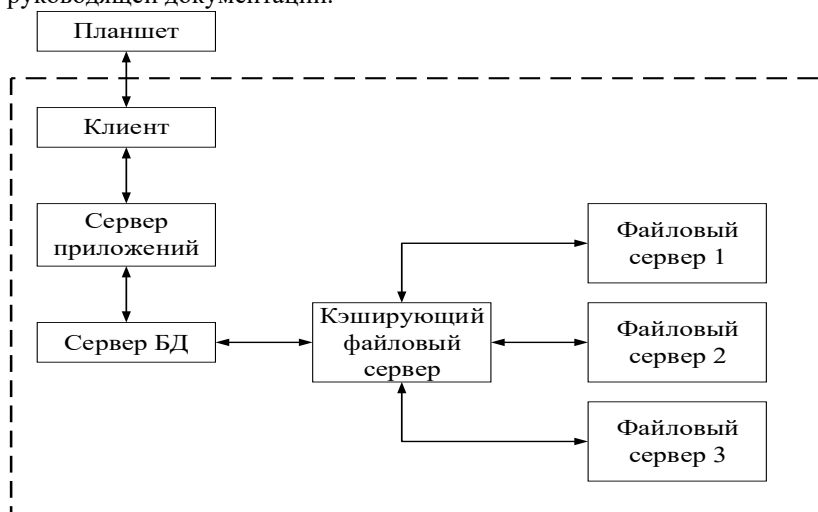


Рис. 2. Схема работы PLM-системы и взаимодействия системы с планшетом

Таким образом, применение PLM-систем позволяет усовершенствовать процесс подготовки производства за счет взаимоувязки всей документации, применяемой при производстве, усовершенствования процесса согласования документации и автоматизации процессов при работе с документацией

### Литература

1. ГОСТ Р 50995.3.1-96. Технологическое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства. М.: Изд-во стандартов, 1996. - 20 с.
2. Оптимизация подготовки производства [Электронный ресурс] URL: <http://www.cadcamcae.lv/N91/30-34.pdf> (Дата обращения 7.12.23).
3. Финогеев А.Г., Каблов Е.В. Автоматизация процедуры управления процессом согласования и утверждения технологической документации // Современные наукоемкие технологии. 2015. №11. С. 48-52.

УДК 621.454.2

eLIBRARY.RU: 55.42.49+55.49.07+61.51.59

**Алтунин В.А.**

**Altunin V.A.**

доктор технических наук, профессор  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Платонов Е.Н.**

**Platonov E.N.**

кандидат технических наук, доцент  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Абдуллин М.Р.**

**Abdullin M.R.**

аспирант КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Пронин К.А.**

**Pronin K.A.**

аспирант КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Юсупов А.А.**

**Yusupov A.A.**

соискатель учёной степени кандидата технических наук  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Алексенко И.В.**

**Aleksenko I.V.**

студент, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Жилякова А.Е.**

**Zhilyakova A.E.**

магистрант КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Яновская М.Л.**

**Yanovskaya M.L.**

кандидат технических наук, младший научный сотрудник  
ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва

## **ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

### **PROBLEMS OF CREATION OF REUSABLE LIQUID ROCKET ENGINES**

**Аннотация.** В докладе рассмотрены проблемы создания жидкостных ракетных двигателей многоразового использования. На основе результатов экспериментальных исследований разработаны пути решения данных проблем. Показаны новые запатентованные

конструктивные схемы жидкостных ракетных двигателей одно – и многоразового использования повышенных характеристик.

**Ключевые слова:** жидкостные ракетные двигатели, жидкие и газообразные углеводородные горючие и охладители, рубашка регенеративного охлаждения, осадкообразование, термоакустические автоколебания давления, форсуночная головка, электростатические поля.

**Abstract.** The report examines the problems of creating reusable liquid rocket engines. Based on the results of experimental studies, ways to solve these problems have been developed. New patented design diagrams of single-use and reusable liquid-propellant rocket engines with improved performance are shown.

**Keywords:** liquid rocket engines, liquid and gaseous hydrocarbon fuels and coolants, regenerative cooling jacket, sedimentation, thermoacoustic self-oscillations of pressure, nozzle head, electrostatic fields.

В докладе сделан обзор и анализ существующих конструктивных схем жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) на жидких углеводородных горючих (УВГ) и охладителях (УВО) [1-10].

Среди тепловых проблем, которые происходят в наружной рубашке регенеративного охлаждения ЖРД, особо выделены термоакустические автоколебания (ТААК) давления и процесс осадкообразования, а также – проблемы со своевременным контролем этих процессов. Такие же проблемы будут возникать и при создании ЖРД многоразового использования (ЖРДМИ).

На основе экспериментальных исследований с жидкими и газообразными УВГ и УВО авторами доклада для ЖРД и ЖРДМИ разработаны [2-10]:

- 1) новые способы борьбы с осадкообразованием в топливно-подающих и охлаждающих каналах (без применения и с применением электростатических полей);
- 2) новые способы борьбы с негативными эффектами при ТААК давления (без применения и с применением электростатических полей);
- 3) новые способы использования позитивных процессов при ТААК давления - для удаления твёрдых углеродистых отложений из каналов рубашки охлаждения входе космического полёта;
- 4) новые способы контроля за аномальными тепловыми и др. процессами;

Показаны новые конструктивные схемы ЖРД и ЖРДМИ [9, 10]:  
– со сменными форсуночными головками;

- с системами защиты форсунок горючего от осадкообразования;
- с системами борьбы с ТААК давления и, наоборот, с их использованием;
- с системами улавливания частиц осадкообразования с дальнейшим их сжиганием в сопле ЖРД или выбросом в открытый космос;
- с системами защиты стенок баков и корпусов космических летательных аппаратов (КЛА) от тепловых ударов и лазерного оружия [10];
- с системами контроля за аномальными тепловыми процессами и за результатами борьбы с ТААК давления, с осадкообразованием, с тепловыми и лазерными ударами – с выводом данных в бортовой компьютер, на информационное табло лётчика – космонавта и наземного оператора.

Раскрыты особенности создания ЖРД и ЖРДМИ на сжиженном метане, показаны новые конструктивные схемы метановых ЖРД и ЖРДМИ, выявлены позитивные и негативные особенности тепловых процессов в топливно-подающих и охлаждающих системах при частичной конверсии сжиженного метана [2-10]. Применение материалов доклада будет способствовать созданию новых отечественных ЖРД и ЖРДМИ двойного назначения и повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, эффективности, неуязвимости, выживаемости, экологичности и экономичности.

### **Литература**

1. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. Учебник для вузов / Под ред. Глушко В.П. / М.: Изд-во «Машиностроение», 1989. 464 с.
2. Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А., Мусина И.М., Жилиякова А.Е., Яновская М.Л. Некоторые пути совершенствования жидкостных ракетных двигателей (100-летию со дня рождения академика В.Е. Алемасова – посвящается) // Матер. 58-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (19-20 сентября 2023 г., г. Калуга, ГМИК им. К.Э. Циолковского). РАН, РАКЦ. Калуга: Изд-во «Наша полиграфия», 2023. Ч. 1. С. 201-205.
3. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Платонов Е.Н., Коханова С.Я., Яновская М.Л. Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в топливно-охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного, аэрокосмического и космического

применения // Известия вузов. Машиностроение. 2017. № 10 (691). С. 77 – 90.

4. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р., Давлатов Н.Б., Платонов Е.Н., Яновская М.Л. Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 10. С. 453-479.

5. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Давлатов Н.Б., Зарипова М.А., Керножицкий В.А., Колычев А.В., Разносчиков В.В., Сафаров М.М., Яновский Л.С., Яновская М.Л. Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях / Под общ. ред. доктора технических наук, профессора Л.С. Яновского. Монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

6. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Чигарёв М.Р., Баданов Н.С., Яновская М.Л. Разработка конструктивных схем метановых жидкостных ракетных двигателей // Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей (полных докладов) 56 научных чтений памяти К.Э. Циолковского по секции № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (Калуга, 21-22 сентября 2021 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. С. 87-98.

7. Абдуллин М.Р., Алтунин В.А., Жиликова А.Е., Пронин К.А., Платонов Е.Н., Яновская М.Л. Исследование возможности создания конструктивных схем метановых жидкостных реактивных двигателей для высокоскоростных и гиперзвуковых летательных аппаратов // Сб. тез. докл. 47-х Академических чтений по космонавтике. (Москва, 24-27 января 2023 г.). Сек. № 15: «Комбинированные силовые установки для гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов». РАН. РАКЦ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. Т. 3. С. 131 – 133.

8. Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Пронин К.А., Жиликова А.Е., Мусина И.М., Яновская М.Л. Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в рубашках охлаждения двигателей летательных аппаратов // Сб. тез. докл. Международ. научно-технич. конф. «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвящ. 100-летию отечественной гражданской авиации. М.: ИД Академии имени Н.Е. Жуковского. 2023. С. 55-56.

9. Алтунин В.А. Способ повышения надёжности ЖРД одно- и многократного использования // Патент на изобретение РФ № 2287715. Бюлл. № 32 от 20.11.2006 г.

10. Алтунин В.А. Способ защиты аэрокосмических систем от лазерного оружия // Патент на изобретение РФ № 2212364. Бюлл. № 26 от 20.09.2003 г.

УДК 621.45.00.11.030

eLIBRARY.RU: 89.25.00+55.42.49+55.42.47

**Алтунин В.А.**

**Altunin V.A.**

доктор технических наук, профессор

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Львов М.В.**

**Lvov M.V.**

аспирант, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**ЩигOLEV А.А.**

**Schigolev A.A.**

соискатель учёной степени доктора технических наук

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Юсупов А.А.**

**Yusupov A.A.**

соискатель учёной степени кандидата технических наук

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Кореев Е.П.**

**Koreev E.P.**

студент, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

**Яновская М.Л.**

**Yanovskaya M.L.**

кандидат технических наук

младший научный сотрудник

ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА  
ТЕПЛОТДАЧИ К МОТОРНОМУ АВИАЦИОННОМУ МАСЛУ  
В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ  
ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ  
АВИАЦИОННЫХ И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
ОДНО– И МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR CALCULATING THE HEAT  
TRANSFER COEFFICIENT TO AVIATION ENGINE OIL UNDER  
CONDITIONS OF ITS FORCED CONVECTION UNDER THE  
INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELDS FOR AVIATION AND  
AEROSPACE ENGINES, SINGLE AND REUSABLE**

**Аннотация.** На основе результатов проведённых экспериментальных исследований тепловых процессов в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции при влиянии электростатических полей разработаны методики и формулы расчёта коэффициента теплоотдачи, которые можно применять при проектировании и создании новых отечественных авиационных и аэрокосмических двигателей одно– и многоразового использования повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, эффективности, безопасности и экономичности.

**Ключевые слова:** системы смазки воздушно-реактивных двигателей, моторные авиационные масла, электростатические поля, методики расчёта коэффициента теплоотдачи, ресурс, надёжность, эффективность, безопасность, экономичность.

**Abstract.** Based on the results of experimental studies of thermal processes in aviation motor oil of the MS-20 brand under conditions of its forced convection under the influence of electrostatic fields, methods and formulas for calculating the heat transfer coefficient have been developed that can be used in the design and creation of new domestic aviation and aerospace engines, single and reusable use of increased characteristics in terms of resource, reliability, efficiency, safety and economy.

**Keywords:** lubrication systems for air-jet engines, aviation motor oils, electrostatic fields, methods for calculating the heat transfer coefficient, service life, reliability, efficiency, safety, cost-effectiveness.

Из-за сложных термодинамических условий, в которых находятся авиационные моторные масла в двигателях летательных аппаратов (ЛА) одно– и многоразового использования, происходят различные аномальные эффекты: потеря смазывающих и других свойств,

негативный процесс осадкообразования, ухудшение охлаждающих возможностей.

Для более глубоких знаний тепловых процессов была создана экспериментальная установка и проведены экспериментальные исследования при различных значениях давления и скорости прокачки моторного масла марки МС-20 [1-3].

Создан банк экспериментальных данных, разработаны методики расчёта коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу, а также – методики борьбы с осадкообразованием [4].

Экспериментально было установлено, что магнитные поля очень слабо влияют на повышение коэффициента теплоотдачи и предотвращение осадкообразования, а электростатические поля (Е), наоборот, оказывают значительное влияние.

Для более глубоких исследований влияния (Е) в авиационных моторных маслах при их вынужденной конвекции была создана экспериментальная установка и рабочие участки с (Е), где использовалась самая эффективная система электродов типа «Игла – игла» [5].

В ходе экспериментов при различных рабочих параметрах были установлены зоны эффективной работы (Е) и зоны насыщения (Е), где дальнейшее увеличение подаваемого электростатического напряжения не приводит к ожидаемому увеличению коэффициента теплоотдачи.

Правильное и точное нахождение коэффициента теплоотдачи к моторным авиационным маслам является важной задачей при проектировании, создании и эксплуатации авиационной и аэрокосмической техники одно – и многоразового использования.

На основе результатов исследования [6, 7]:

- создана экспериментальная база данных в виде таблиц и графиков, позволяющая быстро определять значения коэффициента теплоотдачи без применения и с применением (Е);
- разработаны новые методики и формулы расчёта коэффициента теплоотдачи к авиационному моторному маслу без использования и с использованием (Е), позволяющие быстро его рассчитывать без проведения дорогостоящих и длительных экспериментальных исследований и без использования экспериментальной базы данных;
- даны рекомендации по правильному расчёту коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу при его вынужденной конвекции в кольцевом канале при различных нагревах рабочего участка (рабочей трубки), различных давлениях и скоростях прокачки без использования и с использованием (Е).



Материалы доклада будут способствовать проектированию и созданию новых отечественных авиационных и аэрокосмических двигателей повышенных характеристик одно– и многоразового использования для ЛА и других техносистем различного назначения и базирования.

Доклад сопровождается новыми конструктивными схемами систем смазки и охлаждения двигателей для различных ЛА без применения и с применением (Е).

### **Литература**

1. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Щиголов А.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л. Проблемы систем смазки авиационных двигателей // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 8. С. 357-384.
2. Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголов А.А., Яновская М.Л. Проблемы осадкообразования в системах смазки двигателей летательных аппаратов // Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей (полных докладов) 56 научных чтений памяти К.Э. Циолковского по сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (Калуга, 21-22 сентября 2021 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. С. 99-113.
3. Алтунин В.А., Львов М., Щиголов А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Экспериментальное исследование тепловых процессов при вынужденной конвекции авиационных моторных масел // Матер. докл. 57-ых научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. РАКЦ. Калуга: Изд-во «Эйдос». 2022. С. 233-236.
4. Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголов А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Анализ методик расчёта коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу в сложных термодинамических условиях авиационных и аэрокосмических двигателей // Матер. 58-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (19-20 сентября 2023 г., г. Калуга, ГМИК им. К.Э. Циолковского). РАН, РАКЦ. Калуга: Изд-во «Наша полиграфия», 2023. Ч. 1. С. 206-208.
5. Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголов А.А., Юсупов А.А., Яновская М.Л. Экспериментальная установка для исследования влияния электростатических полей на теплообмен и процесс

осадкообразования в моторном авиационном масле при его вынужденной конвекции // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2023, № 7, с. 113–123, doi: 10.18698/0536-1044-2023-7-113-123.

6. Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголов А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1. // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 11. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-11-2317>.

7. Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголов А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 2. Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 12. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-12-2324>.

УДК 629.735.33.01

eLIBRARY.RU: 89.25.00+55.49.00+55.42.49+55.42.47+61.51.29

**Алтунин В.А.**

**Altunin V.A.**

доктор технических наук, профессор  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Алтунин К.В.**

**Altunin K.V.**

кандидат технических наук, доцент  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Абдуллин М.Р.**

**Abdullin M.R.**

аспирант КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Пронин К.А.**

**Pronin K.A.**

аспирант КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Баданов Н.С.**

**Badanov N.S.**

аспирант КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

**Алексенко И.В.**  
**Aleksenko I.V.**  
студент КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева  
**Жилякова А.Е.**  
**Zhilyakova A.E.**  
магистрант  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань  
**Яновская М.Л.**  
**Yanovskaya M.L.**  
кандидат технических наук  
младший научный сотрудник  
ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва

**ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ  
С ОСАДКООБРАЗОВАНИЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ  
КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК  
ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ  
И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**APPLICATION OF NEW METHODS TO COMBAT SEDIMENT  
FORMATION IN THE DEVELOPMENT OF NEW DESIGN  
DIAGRAMS OF FUEL INJECTORS FOR JET AIR ENGINES  
AND AEROSPACE AIRCRAFT**

**Аннотация.** Показаны новые конструктивные схемы топливных форсунок повышенных характеристик для воздушно-реактивных двигателей авиационных и аэрокосмических летательных аппаратов одно- и многоразового использования, разработанные на основе решения проблем тепловых процессов в жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях и проведённых экспериментальных исследований в условиях их естественной и вынужденной конвекции без применения и с применением электростатических полей.

**Ключевые слова:** топливная форсунка, воздушно-реактивный двигатель, жидкое углеводородное горючее и охладитель, осадкообразование и способы борьбы с ним, ресурс, надёжность, эффективность.

**Abstract.** New design schemes of fuel injectors with improved characteristics for air-breathing engines of aviation and aerospace aircraft of single and reusable use are shown, developed on the basis of solving the problems of thermal processes in liquid and gaseous hydrocarbon fuels and

coolants and conducted experimental studies in conditions of their natural and forced convection without and with the use of electrostatic fields.

**Keywords:** fuel injector, air-breathing engine, liquid hydrocarbon fuel and coolant, sedimentation and methods of combating it, service life, reliability, efficiency.

В ходе работы воздушно-реактивных двигателей (ВРД) авиационных и аэрокосмических летательных аппаратов (ЛА) одно – и многократного использования происходит нагрев топливных форсунок и жидкого углеводородного горючего (УВГ) и охладителя (УВО), из-за чего возникает негативный процесс осадкообразования [1-15].

Экспериментально установлено [1-8, 12, 13], что до температуры 313 К жидкие УВГ являются диэлектриками, при температуре более 313 К в них появляются положительные и отрицательные заряженные частицы, т.е. появляется электропроводность, при температуре 373 К – появляются диполи, которые принимают активное участие в процессе осадкообразования. Экспериментально было обнаружено, что магнитные поля оказывают очень слабое влияние на теплоотдачу к жидким УВГ (УВО) и на предотвращение углеродистого осадка, а электростатические поля (Е), наоборот, оказывают значительное влияние.

Из-за твёрдых углеродистых отложений происходят аномальные процессы: частичное и полное закоксовывание деталей и каналов форсунки с частичной и полной потерей тяги; нерасчётный струйный распыл с дальнейшим прогаром жаровой трубы ВРД, пожаром и взрывом; уменьшение штатного ресурса, надёжности и безопасности ВРД и всего ЛА; неуправляемость двигателем и ЛА из-за заедания и заклинивания топливно-регулирующей аппаратуры.

Проведён обзор и анализ существующих способов борьбы с осадкообразованием в двигателях ЛА и наземных энергоустановках (ЭУ). Разработаны новые способы борьбы с осадкообразованием. Проведена общая классификация существующих и новых (перспективных) способов и средств борьбы с этим негативным процессом, которые можно разделить на: удаляющие осадок; предотвращающие осадок; уменьшающие осадок; ограничивающие осадок. Также все эти способы можно разделить на три класса: без применения (Е); с применением (Е); гибридные (без (Е) и с (Е) – одновременно).

В докладе на предыдущих научных Чтениях памяти К.Э. Циолковского [13] авторами подробно раскрывались и описывались новые и запатентованные конструктивные схемы топливных форсунок

на жидких УВГ (УВО), в которых применялись различные существующие и перспективные способы борьбы с осадкообразованием [9-11].

В данном докладе показаны новые и запатентованные конструктивные схемы топливных форсунок [14, 15], в которых имеется наружная рубашка охлаждения, в которой внедрены новые и перспективные способы борьбы с осадкообразованием:

- 1) способ по предотвращению осадка без применения (Е) – путём охлаждения внутренних деталей форсунки до температуры 373 К и менее;
- 2) способ по ограничению роста осадка – путём создания нагреваемой внутренней поверхности стенки рубашки охлаждения в виде конической резьбы с высотой зубьев (3 – 5) мм;
- 3) способ по предотвращению осадка – путём применения (Е).

Также в этих новых форсунках:

- разработаны различные схемы подвода жидкого УВГ (УВО) к рубашке наружного охлаждения и к форсуночному фильтру;
- рассмотрены возможности охлаждения форсунки при естественной конвекции жидкого УВГ (УВО);
- созданы все условия для применения и газообразного УВГ (УВО) типа метан в условиях его вынужденной и естественной конвекции;
- открыты возможности по обеспечению вынужденной конвекции жидких и газообразных УВГ (УВО) внутри рубашки наружного охлаждения форсунки – путём применения (Е) - электрического ветра.

Применение материалов доклада, патентов на изобретения, научных статей и монографий авторов доклада будет способствовать дальнейшему повышению ресурса, надёжности и эффективности отечественных реактивных двигателей для авиационных и аэрокосмических ЛА одно и – многократного использования, а также для ЭУ наземного применения.

### **Литература**

1. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Давлатов Н.Б., Зарипова М.А., Керножицкий В.А., Колычев А.В., Разносчиков В.В., Сафаров М.М., Яновский Л.С., Яновская М.Л. Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях / Под общ. ред. доктора технических наук, профессора Л.С. Яновского. Монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

2. Алтунин К.В. Функционально-стоймостной анализ горелочных устройств и форсунок: монография. Казань: Изд-во КНИТУ – КАИ, 2020. 156 с.
3. Алтунин В.А. (науч. рук.), Шигапов Р.Р. Разработка новых топливных форсунок для воздушно-реактивных двигателей // Сб. тез. докл. 47-ой Международ. молодёж. научной конф. «Гагаринские чтения – 2021». Направление № 2: «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки». (20-23 апреля 2021 г, Москва, МАИ). М.: Изд-во «Перо», 2021. С. 197.
4. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Ефимов Д.Е. Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК» на жидких и газообразных углеводородных горючих // Тез. докл. 20-ой Международной конф. «Авиация и космонавтика». М.: Изд-во «Перо», 2021. С. 86-88. (Конференция проводится в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от 16 ноября 2020 г. № 075-15-2020-924).
5. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л., ЩигOLEV А.А., Платонов Е.Н., Юсупов А.А., Алиев И.Н., Яновский Л.С., Яновская М.Л. Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 1. // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 12. С. 530-542.
6. Алтунин В.А. (науч. рук.), Абдуллин М.Р. и др. Некоторые пути совершенствования форсунок ВРД марки НК-8-2У (110-летию со дня рождения Н.Д. Кузнецова – посвящается) // Сб. матер. докл. междунар. молодёжной научной конф. «25 Туполевские чтения», посвящённой 60-летию со дня осуществления Первого полёта человека в космическое пространство Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ. 2021. Т. 2. С. 4-10.
7. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л., ЩигOLEV А.А., Платонов Е.Н., Юсупов А.А., Алиев И.Н., Яновский Л.С., Яновская М.Л. Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 2. // Тепловые процессы в технике. 2022. Т. 14. № 1. С. 9-21.
8. Алтунин К.В. Разработка методики расчета температуры внутренней стенки мультитопливной форсунки с целью предотвращения осадкообразования и перегрева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 6 (735). 2021. С. 37-47.
9. Алтунин В.А. Форсунка // Патент на изобретение РФ № 2155910. Бюл. №25 от 10.09.2000 г.

10. Алтунин К.В. Форсунка. // Патент РФ на изобретение № 2388966. Бюл. № 13 от 10.05.2010.
11. Алтунин К.В. Форсунка. // Патент РФ на изобретение № 2447362. Бюл. № 10 от 10.04.2012 г.
12. Абдулин М.Р., Алтунин В.А., Алтунин К.В., Пронин К.А., Кореев Е.П., Жиликова А.Е., Яновская М.Л. Разработка охлаждающих форсунок для воздушно-реактивных двигателей одно – и многократного использования // Сб. тез. докл. 47-х Академических чтений по космонавтике, посвящ. памяти акад. С.П. Королёва и др. выдающихся отечественных учёных – пионеров освоения космического пространства (Москва, 24-27 января 2023 г.). Сек. № 15: «Комбинированные силовые установки для гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов». РАН. РАКЦ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. Т. 3. С. 134 – 136.
13. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Баданов Н.С., Фаррахов А.Б., Жиликова А.Е., Яновская М.Л. Разработка конструктивных схем топливных форсунок реактивных двигателей воздушных и аэрокосмических летательных аппаратов // Матер. 58-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (19-20 сентября 2023 г., г. Калуга, ГМИК им. К.Э. Циолковского). РАН, РАКЦ. Калуга: Изд-во «Наша полиграфия», 2023. Ч. 1. С. 211-215.
14. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р., Гортышов Ю.Ф., Пронин К.А., Яновский Л.С., Яновская М.Л. Форсунка с эффективной рубашкой охлаждения // Патент на изобретение РФ № 2806710. Бюл. № 31 от 03.11.2023 г.
15. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р., Гортышов Ю.Ф., Яновский Л.С., Яновская М.Л. Форсунка с наружной рубашкой охлаждения // Патент на изобретение РФ № 2810865. Бюл. № 1 от 28.12.2023 г.

УДК 621.45.015  
eLIBRARY.RU: 55.42.43

**Саттаров А.Г.**  
**Sattarov A.G.**  
доктор технических наук, профессор  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

## АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАКЕТОНОСИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LAUNCH VEHICLES OF TRANSPORT SPACE SYSTEMS

**Аннотация.** Средства вывода полезной нагрузки на околоземную орбиту с использованием традиционных ЖРД и РДТТ достигли пределов своего развития. При дальнейшем развитии технических систем должен быть осуществлен переход к принципиально новой системе, позволяющей значительно улучшить технико-экономические характеристики средств выведения на орбиту Земли полезных грузов.

**Ключевые слова:** средства выведения, полезная нагрузка, удельный импульс, жидкостный ракетный двигатель, ракетный двигатель на твердом топливе, лазерный ракетный двигатель, непрерывный оптический разряд, волоконный лазер.

**Abstract.** Means for launching a payload into low-Earth orbit using traditional liquid propellant engines and solid propellant rocket engines have reached the limits of their development. In accordance with the laws of development of technical systems, a transition must be made to a fundamentally new system that will significantly improve the technical and economic characteristics of means of launching payloads into Earth orbit.

**Keywords:** launch vehicles, payload, specific impulse, liquid rocket engine, solid fuel rocket engine, laser rocket engine, continuous optical discharge, fiber laser.

В современных ракетных двигателях (РД) космических летательных аппаратов в качестве основного источника энергии используется тепло, выделяемое в результате химических реакций, например, при сгорании горючего в среде окислителя.

Количество выделяемого тепла, следовательно, и температура рабочего тела в камере сгорания РД при таком способе нагрева ограничены, что не позволяет достичь дальнейшего увеличения удельного импульса  $I_{уд}$ .

Задача увеличения удельного импульса требует поиска новых, более эффективных способов увеличения удельного импульса ракетных двигателей, применяемых в средствах выведения полезных грузов на орбиту Земли.



## Анализ технико-экономических характеристик средств выведения

В табл. 1 приведены технико-экономических характеристик средств выведения для различных ракетносителей (РН) и транспортных космических систем (ТКС). Анализ таблицы показывает, что средства вывода полезной нагрузки на околоземную орбиту с использованием традиционных ЖРД и РДТТ достигли пределов своего развития. Это утверждение наглядно видно из рис. 1.

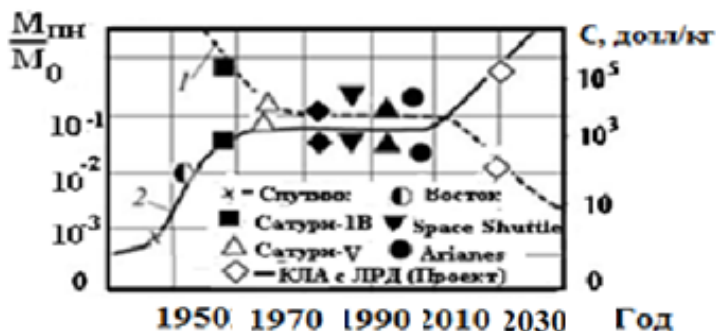


Рис. 1. Технико-экономические характеристики средств выведения на орбиту Земли полезных грузов: 1 - отношение массы полезного груза к начальной массе ( $M_{пн}/M_0$ ); 2 - стоимость вывода полезного груза на орбиту ( $C$ )

Время показало, что те колоссальные средства, которые затратили США на создание многократного транспортного космического корабля «Space Shuttle» не дали эффективных результатов.

В результате, стоимость вывода 1 кг полезной нагрузки на околоземную орбиту остается очень высокой и сегодня.

К.Э. Циолковский в 1924 году писал, что летательные аппараты будущего будут использовать для вывода на орбиту «направленную энергию электромагнитного излучения». В ходе экспериментальных исследований по теме лазерных двигателей для малогабаритных орбитальных КЛА автором доклада с его учениками были получены следующие патенты на изобретения РФ: №№ 2626465, 2442019, 2439360, 2436991, 2458248, 2468543, 2484280.

Таблица 1. Характеристики РН и ТКС стран разработчиков космической техники

Название РН	Страна разра-	Готовность	$M_0$ , [Т]	Полезная нагрузка, [Т]
-------------	---------------	------------	-------------	------------------------

или ТКС	ботчик	ь, год		НО	ПО	ГО	ГСО
Спутник (РН)	СССР	1957	267	1,35	-	-	-
Восток (РН)	СССР	1961	287	4,73	-	-	-
Союз (РН)	СССР	1967	310	7,00	-	-	-
Сатурн-1 (РН)	США	1964	502	10,2	-	-	-
Сатурн-1В (РН)	США	1966	590	18,1	-	-	-
Сатурн-V (РН)	США	1967	2950	139,0	-	-	-
Space Shuttle (ТКС)	США	1984	2090 <sup>1)</sup>	29,48	-	2,27	-
Titan 34Д7 (РН)	США	1988	880	18,0	-	4,535	-
PSLV (РН)	Индия	1990	275	3,0	-	-	1,0 <sup>2)</sup>
CZ3 (РН)	Китай	1987	202	3,8	1,4	-	-
H 11 (РН)	Япония	1991	255	10,0	3,8	2,0	-
Arianes (РН)	Зап. Евр.	1995	550	15,0	5,2 - 8,0	3,8	-

**Примечание:** <sup>1)</sup> Инерциональная верхняя ступень; <sup>2)</sup> Высокий перигей; НО – низкие околоземные; ПО – промежуточные; ГО – геостационарные; ГСО – геосинхронные орбиты.

### Результаты и обсуждение

Использование внешних источников энергии, например, энергии лазерного излучения и создание КЛА с лазерным ракетным двигателем, имеющим высокий удельный импульс, может существенно повысить технико-экономические показатели ТКС. Расчеты показывают, что при использовании лазерных ракетных двигателей (ЛРД) с удельным импульсом  $I_{уд} = (1000 - 2000)$  [с] можно

создать одноступенчатый РН с малой начальной массой  $M_0 = (9100 - 300)$  кг [1-5]. Нагрев рабочего газа, например, водорода, может быть осуществлен в камере поглощения ЛРД путем создания множественных очагов плазмы, полученной непрерывным оптическим разрядом [2]. Интенсивное развитие волоконных лазеров с КПД (30 - 40) % на длине волны, позволяющей передачу энергии на большие расстояния с малыми потерями при прохождении через атмосферу создают возможности для реализации данной идеи.

### Литература

1. Саттаров А.Г. Концепция космического летательного аппарата с малой начальной массой, выводимого на околоземную орбиту лазерным ракетным двигателем / Известия вузов. Авиационная техника. 2008. № 2. С. 41 - 49.
2. Саттаров А.Г. Лазерный ракетный двигатель на основе непрерывного оптического разряда / Известия вузов. Авиационная техника. 2008. № 3. С. 46 - 49.
3. Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Бикмучев А.Р., Зиганшин Б.Р. Оценка приращения скорости космического летательного аппарата на лазерной тяге // Труды 54-ых Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Секция №2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2019. С. 145-148.
4. Саттаров А.Г., Бикмучев А.Р., Сочнев А.В., Зиганшин Б.Р. Физическая модель распространения множественных импульсных приповерхностных оптических разрядов в цилиндрической камере импульсного лазерного ракетного двигателя // Сб. статей «Современные проблемы ракетной и космической техники». (Полные доклады 57-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского по сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (21 сентября 2022 г., ГМИК, г. Калуга)). Казань: РИД «Школа», 2023. С. 249-259.
5. Саттаров А.Г., Бикмучев А.Р., Сочнев А.В., Зиганшин Б.Р. Система ориентации, стабилизации и коррекции КЛА с малой массой на основе импульсных лазерных ракетных двигателей // Матер. докл. 58-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (19 - 21 сентября 2023 г., ГМИК, г. Калуга). РАН. РАКЦ. Калуга: Изд-во «Эйдос», 2023. Ч. 1. С. 218-220.

**Финогенов С.Л.**  
**Finogenov S.L.**

старший научный сотрудник  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет), г. Москва

**ПРОЕКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖОРБИТАЛЬНОГО  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С СОЛНЕЧНЫМ ТЕПЛОВЫМ  
РАКЕТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОВЫШЕННОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**PERFORMANCES OF INTER-ORBITAL SPACECRAFT WITH  
ADVANCED SOLAR THERMAL PROPULSION**

**Аннотация.** Рассматривается солнечный тепловой ракетный двигатель (СТРД) с двухступенчатым фазопереходным тепловым аккумулятором (ТА) для применения в составе межорбитального космического аппарата (КА). ТА включает периферийную низкотемпературную ступень нагрева на основе гидрида лития и центральную высокотемпературную ступень на основе оксида бериллия. Определены основные параметры КА с СТРД. Представлены оптимальные соотношения масс двигателя, определены требуемая точность и размеры солнечного концентратора, рассмотрены условия его ориентации на Солнце. Показаны преимущества в массовой эффективности КА по сравнению с альтернативными средствами выведения на высокоэнергетические орбиты.

**Ключевые слова:** солнечный тепловой ракетный двигатель, ступени нагрева, тепловой аккумулятор, геостационарная орбита, космический аппарат.

**Abstract.** Solar thermal propulsion (STP) with the advanced double-staged latent heat thermal energy storage (TES) for inter-orbital spacecraft (SC) is considered. The TES includes peripheral low-temperature stage of heating with latent heat substance (lithium hydrate) and central high-temperature stage with beryllium oxide as latent heat material. Main performances of SC with the TES are determined. Optimal correlations of such SC masses are presented as well as required accuracy and dimensions of the solar concentrator. Conditions of the STP tracking to the Sun are

considered. Gain of mass efficiency of the SC with the STP compared to alternative means of inter-orbital transfer to high-energy orbits are shown.

**Keywords:** solar thermal propulsion, stages of heating, thermal energy storage, geostationary orbit, spacecraft.

К.Э. Циолковский в начале XX века предсказал перспективы использования солнечного излучения как наиболее мощного и доступного источника энергии. Позднее его прогнозы нашли научно-техническое продолжение в широком спектре практических областей.

В настоящее время в области космических исследований актуальным является использование солнечной энергии для повышения энтальпии ракетного топлива.

Поскольку возможности химических ракетных двигателей (ЖРД, РДТТ) достигли своего теоретического предела, а двигатели с высоким удельным импульсом (ЯРД, ЭРД) имеют известные ограничения по их использованию, то в этой связи целесообразна разработка солнечного теплового ракетного двигателя (СТРД) с прямым нагревом рабочего тела (водорода) в системе «солнечный концентратор - приемник излучения» (КП) за счет сконцентрированной солнечной радиации [1, с. 177].

Рассматривается задача выведения полезной нагрузки (ПН) с низкой околоземной орбиты на геостационарную орбиту (ГСО) для случая использования ракеты носителя «Союз-2.1б» при старте с космодрома Байконур и начальной массе космического аппарата (КА) с СТРД 8000 кг.

Уровень тяги КА с СТРД (100...300 Н) предполагает наличие множественных «разрывных» траекторий с активными и пассивными участками в апсидальных областях переходных орбит. Вначале выполняются перигейные включения двигателя с тангенциальным направлением вектора тяги, а затем, после достижения области апогея геопереходной орбиты, или выше, выполняются апогейные включения двигателя с управлением, в том числе, по углу рыскания, для изменения наклона орбиты и ее скругления до уровня ГСО [2, с. 74-79].

В процессе перелета по пассивным участкам траекторий целесообразно использование теплового аккумулятора (ТА) для накопления тепловой энергии от концентратора с целью ее использования при нагреве рабочего тела на активных участках орбиты и создания тяги.

При учете гауссовой эпюры распределения солнечного светового пятна в фокальной плоскости, можно сделать вывод о возможности

создания двухступенчатого фазопереходного приемника-аккумулятора с низкотемпературной периферийной ступенью, выполненной на основе гидрида лития. Высокотемпературная центральная ступень содержит тугоплавкий оксид бериллия.

Показана возможность нагрева водорода до 2700...2800К при достаточно высоком КПД (60...65%) и подтверждена экспериментально [1, с. 222]. В связи с более высоким КПД двухступенчатого светоприемника-ТА требуемая точность концентратора  $\Delta\alpha$  [1, с. 33] и его масса значительно меньше, чем при использовании простого приемника, максимальная температура нагрева которого не превышает 2200..2400К.

При совместной оптимизации параметра  $\Delta\alpha$  и соотношения масс концентратора и ТА получены их экстремальные значения, обеспечивающие максимуму массы полезной нагрузки (ПН) на ГСО. Наибольшей массе ПН соответствует  $\Delta\alpha=1.1...1.2^\circ$  и соотношение масс зеркала и ТА  $\langle r \rangle = 0.05$ . Допустимое отклонение СТД от прицельного направления на Солнце составляет  $\pm 2.5^\circ$ , что вполне нивелируется современными техническими средствами [1, с. 212].

Масса ПН в случае КА с комбинированной системой, включающей двигателя большой и малой тяги (разгонный блок «Фрегат» с ЭРД СПД-140Д), при времени перелета на ГСО не менее 60 суток, составляет 1640 кг [3, с.21], в то время как в случае КА с СТД полезная масса может составлять 2200..2500 кг. Массовая модель КА принята как статистическая.

Концентратор рассматривается как надувная пленочная конструкция [4, с. 18] и представляет собой параболоид, усеченный конусом или цилиндром. Условный диаметр концентратора равен 5.7 м, что в 2,3 раза меньше размера концентратора с простым ТА, и в 4.5 раза меньше диаметра концентратора без ТА. Различие в габаритах зеркал может превышать 4.5...5 м.

Энергоемкость ступеней  $Q_{a1}=248$  МДж и  $Q_{a2}=486$  МДж, как и полная масса всего ТА (400 кг), при варьировании параметра  $\langle r \rangle$  остается неизменной. Исключение составляют сверхмалые значения параметра  $\langle r \rangle$  менее 0.04 (масса ТА 530 кг).

Полученные результаты показывают выигрыш в массе ПН в рассматриваемом случае перед СТД с простыми с ТА более чем на 400 кг и значительный выигрыш по сравнению с использованием двигателей большой и малой тяги при времени перелета около 30 суток.

## Литература

1. Кудрин О.И. Солнечные высокотемпературные космические энергодвигательные установки. М.: Машиностроение, 1987. - 247 с.
2. Финогенов С.Л. Выбор характеристик солнечного теплового ракетного двигателя в задаче оптимального перелета на геостационарную орбиту // Вестник КГТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. 2018. Т.74, №1. С.74-79.
3. Белик А.А., Егоров Ю.Г., Кульков В.М., Обухов В.А. Анализ проектно-баллистических характеристик комбинированной схемы выведения космического аппарата на геостационарную орбиту с использованием ракет-носителей среднего класса // Авиационно-космическая техника и технология. 2011, №4 (81). С.17-21.
4. Wassom S.R., Lester D.M., Farmer G., Holmes M. Solar Thermal Propulsion IHPRT Demonstration Program Status // 37<sup>th</sup> Joint Propulsion Conference and Exhibit. Salt Lake City, UT, USA. July 08-11, 2001. AIAA Paper, 2001. № 2001-3735. 18pp.

УДК 681.5

eLIBRARY.RU: 50.03.03

**Канушкин С.В.**  
**Kanushkin S.V.**

кандидат технических наук, доцент  
филиал военной академии РВСН им. Петра Великого

**Успенский А.В.**  
**Uspensky A.V.**

курсант  
филиал военной академии РВСН им. Петра Великого

**Даньшин А.С.**  
**Danshin A.S.**

курсант  
филиал военной академии РВСН им. Петра Великого  
г. Серпухов

## АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

### ADAPTIVE CONTROL ALGORITHMS NONLINEAR DYNAMIC OBJECTS

**Аннотация.** Обоснована необходимость и целесообразность использования адаптивных алгоритмов стабилизации. Получен алгоритм, позволяющий разрешить противоречие между требованиями точности и устойчивости системы управления.

**Ключевые слова:** стабилизация, алгоритм, нелинейность, адаптация, точность, устойчивость.

**Abstract.** The necessity and expediency of using adaptive stabilization algorithms are substantiated. An algorithm has been obtained to resolve the contradiction between the requirements of accuracy and stability of the control system.

**Keywords:** stabilization, algorithm, nonlinearity, adaptation, accuracy, stability.

Константину Эдуардовичу Циолковскому принадлежит множество гениальных идей в области ракетно-космической техники. Он впервые предложил в 1898 году схему автопилота для дирижабля. По его идее автопилот или, как называл его К.Э. Циолковский, «автоматический регулятор горизонтального руля» предназначался для стабилизации продольной оси дирижабля в продольной плоскости [1, с.32-34]. Случайное опускание кормы меняет ток и динамо вращается в обратную сторону, куда движется и зубчатый сектор, который этим опускает рули, от чего встречный ветер уже подымает корму до ее горизонтальности и прекращает электрический ток.

Современные системы стабилизации объектов становятся все более и более сложными, так как расширяется круг задач, решаемых ими. В силу того, что современные объекты являются нелинейными, которые непрерывно взаимодействуют с внешней средой, то для решения данной задачи целесообразно применить методы и принципы направленной самоорганизации или адаптивной теории управления [2-3]. Система угловой стабилизации в принципе не может бороться с отклонениями центра масс объекта от программной траектории. Угловое движение ракеты и движение центра масс производится одними и теми же управляющими органами. Поэтому в системе боковой стабилизации контур стабилизации центра масс отрицательно влияет на устойчивость углового движения объекта, так как сигналы управления имеют различные знаки.

Предлагается реализовать прямое адаптивное управление. Это позволит приспособливаться к изменениям параметров объекта и регулятора в процессе полета. Быстрые процессы будут управляться основным регулятором системы, а медленные изменения отслеживаться адаптером. Предложенный адаптивный алгоритм



управления системы боковой стабилизации увеличивает точность системы при сохранении запасов устойчивости. При больших отклонениях от нулевого значения на фазовой плоскости значение коэффициента передачи по отклонению центра масс уменьшается, что увеличивает создаваемое опережение по фазе, и, соответственно, увеличивает запасы устойчивости. При малых отклонениях значение коэффициента увеличивается, что обеспечивает повышение точности системы стабилизации центра масс [4].

### **Литература**

1. Циолковский К.Э. Простое учение о воздушном корабле и его построении / 2-е изд. Калуга: Тип. Губ. правления, 1904. - 105 с.
2. Методы современного классической теории автоматического управления. Учебник в 5-ти томах. Том 5 Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004. -784с.
3. Канушкин С.В. Системы стабилизации ракет: практикум. Серпухов: ФВА РВСН им. Петра Великого, 2018. – 50 с.
4. Патент на полезную модель Российской Федерации № 211357. Система боковой стабилизации / Канушкин С.В., Зайцев А.В., Петрук В.О., Журавлев А.С. (RU). По заявке № 2022103960, приоритет от 15.02.2022.

УДК 629.78.015:531.55.001.2  
eLIBRARY.RU: 89.23.31

**Казмерчук П.В.**

**Kazmerchuk P.V.**

кандидат технических наук

главный конструктор Лунной программы

АО «НПО Лавочкина»

**Вернигора Л.В.**

**Vernigora L.V.**

кандидат технических наук

главный специалист

АО «НПО Лавочкина», г. Химки

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ И ГРАВИТАЦИОННЫХ МАНЁВРОВ КА С МАЛОЙ ТЯГОЙ

### OPTIMIZATION OF TRAJECTORIES AND GRAVITY-ASSIST MANEUVERS OF LOW-THRUST SPACECRAFT

**Аннотация.** Рассмотрена проблематика оптимизации межпланетных траекторий перелёта и гравитационных маневров КА с малой тягой. Использование для решения задачи модифицированного метода линеаризации позволяет проводить совместную оптимизацию управления и параметров гравитационного маневра, а также использовать для указанных задач тривиальные начальные приближения.

**Ключевые слова:** метод линеаризации; малая тяга; нелинейная оптимизация.

**Abstract.** The problems of optimization of low-thrust spacecraft flights with gravity-assist maneuvers are considered. The use of a modified linearization method to solve the problem allows for joint optimization of control and gravity-assist maneuver parameters and the use of trivial initial approximations for these problems.

**Keywords:** linearization method; low thrust; nonlinear optimization.

В рамках разработки [1-3] и верификации [4-7] модифицированного метода линеаризации (ММЛ) для задач оптимального управления КА с малой тягой были исследованы основные классы задач, связанные с траекторной оптимизацией КА с солнечным парусом и КА с электроракетными двигательными установками (ЭРДУ). Неохваченными остались задачи оптимизации межпланетных траекторий, включающих участки проведения гравитационных маневров. Включение в межпланетную траекторию участков, проходящих вблизи планет, называемых гравитационными (пертурбационными) маневрами, позволяет значительно улучшить (в смысле целевых критериев оптимизации) существующие траектории и получать принципиально новые, реализация которых без гравиманевров представляется очень затруднительным в силу ограниченности энергетических возможностей современных двигательных установок. Данный класс задач является важным при проектировании миссий к планетам и астероидам солнечной системы, а также в окрестность Солнца, поскольку реализация таких миссий требует больших энергетических затрат, часто не достижимых при использовании ракетно-космических комплексов на химической тяге.

Спецификой задач траекторной оптимизации КА с малой тягой и гравитационными маневрами является наличие параметров гравиманевров, которые должны быть наряду с управлением включены в состав оптимизируемых параметров. Математически гравиманевры, как правило, моделируются в виде мгновенного изменения скорости, что приводит к особенностям (разрывам) правых частей дифференциальных уравнений движения КА. Наличие множественных гравитационных маневров еще больше усложняют задачу, приводя к необходимости решения многоточечных краевых задач в случае использования принципа Максимиума [8] и существенному увеличению количества нелинейных ограничений задачи в целом.

Использование модифицированного метода линеаризации позволяет успешно преодолеть указанные трудности. Гравитационные маневры моделируются как переход между участками составной динамической системы, что позволяет учесть разрывы правых частей дифференциальных уравнений, а также проводить оптимизацию параметров и дат гравитационных маневров. Большая область сходимости позволяет выбирать тривиальные начальные приближения. При использовании модифицированного метода линеаризации удается получать решения близкие к решениям с использованием принципа Максимиума.

### **Литература**

1. Казмерчук П.В. Метод линеаризации в задачах оптимизации траекторий КА с малой тягой. Теоретические аспекты // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 4 (30). С. 37-42.
2. Казмерчук П.В. Метод линеаризации в задачах оптимизации траекторий КА с малой тягой. Вычислительные аспекты // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 3. С. 83-88.
3. Казмерчук П.В. Метод линеаризации в задачах оптимизации траекторий космического аппарата с малой тягой. Детали реализации // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4 (34). С. 61-66.
4. Казмерчук П.В. Верификация метода линеаризации для задач оптимизации траекторий КА с малой тягой // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. № 1. С. 36-41.
5. Вернигора Л.В., Казмерчук П.В. Оптимизация некомпланарных перелётов с малой тягой методом линеаризации // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2019. № 4. С. 19-26.
6. Казмерчук П.В., Вернигора Л.В. Метод линеаризации в задачах перелета космических аппаратов с электроракетной двигательной

установкой на геостационарную орбиту // Труды МАИ. 2020. № 115. С.9.

7. Малышев В.В., Усачов В.Е., Казмерчук П.В. Методика оптимизации траекторий, включающих гравиманевры КА с солнечным парусом // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2007. № 1. С. 194.

8. Константинов М.С., Орлов А.А. Оптимизация траектории перелёта космического аппарата с малой тягой для исследования Юпитера с использованием гравитационного манёвра у Земли. // Вестник ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». 2013. Т. 21, №5. С. 42-46.

УДК 629.78.02

eLIBRARY.RU: 55.49.29

**Деменко О.Г.**

**Demenko O.G.**

кандидат технических наук

ведущий инженер-конструктор

АО НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИВЕДЁННЫХ УДАРНЫХ СПЕКТРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КА**

## **USE OF THE REDUCED SHOCK SPECTRA TO PREDICT THE LEVEL OF OPERATIONAL SHOCK LOADING OF SPACECRAFT ONBOARD EQUIPMENT**

**Аннотация.** Рассматривается проблема имитации эксплуатационного ударного нагружения элементов космического аппарата (КА) при проведении его наземных испытаний на прочность. Предлагается использование одиночных механических ударов. Анализируются процессы, протекающие при ударном нагружении. Обосновывается подобие приведенных ударных спектров при реальном и имитационном нагружениях.

**Ключевые слова:** ударная прочность КА, ударные испытания, ударный спектр нагрузки, имитация ударного нагружения.

**Abstract.** The problem of simulating operational shock loading of spacecraft elements during its ground strength tests is considered in this paper. It is proposed to use single mechanical shocks. The processes

occurring under shock loading are analyzed. The similarity of the given shock spectra under real and simulated loading is substantiated.

**Keywords:** shock strength of spacecraft, shock test, shock load spectrum, shock loading simulation.

При наземной отработке КА большое внимание уделяют вопросам ударной прочности (УП). Это связано с высокой чувствительностью бортовой аппаратуры к действию ударных нагрузок. Основная проблема в обеспечении УП КА состоит в определении эксплуатационного уровня ударного нагружения каждого чувствительного объекта на этапе проектирования КА.

Основным способом определения этих нагрузок являются натурные ударные испытания КА [3]. Однако, к моменту испытаний оборудование и конструкция КА уже, как правило, разработаны. Поэтому первичные требования к УП вынуждены задавать экспертным путём, что приводит к завышению уровня нагрузок и создает лишние проблемы. Для рационального и обеспечения УП КА желательно иметь также простые способы имитации ударного нагружения КА. Например, ударные механические испытания, при которых удары наносятся молотком.

Уровень ударного нагружения можно определить как максимальное ускорение в ударном спектре (УС) отклика конструкции в некоторой референсной точке вблизи места расположения пиромеханизма (единое значение для всех элементов конструкции КА), а форму УС определить отношением УС в узлах крепления каждой единицы бортовой аппаратуры к максимальному ускорению УС на конструкции вблизи пиромеханизма. Тогда действительное нагружение каждого элемента КА можно будет определить, используя максимальное ускорение и форму ударного спектра.

Выразителем формы УС предлагается использовать безразмерный УС, полученный делением значений реального УС в узлах крепления блока аппаратуры к максимальной величине УС в референсной точке конструкции. Такой УС будем в дальнейшем называть приведенным ударным спектром (ПрУС).

Пиротехнические (П) и механические (М) удары отличаются длительностью действия нагрузки. При пироударе ударное ускорение в ближней зоне достигает величины порядка 2000 g за примерно 0,1...0,2 мс, а при М ударе – 50–500 g за 0,5–1,0 мс. Длительность П удара в 5...10 раз меньше, чем при М, что объективно даёт более высокочастотный УС. Поэтому точное воспроизведение формы УС от воздействия пироудара при воздействии М ударами невозможно.

Однако, прохождение ударной нагрузки через соединительные узлы элементов конструкции КА в зону установки оборудования значительно трансформирует ударный импульс, «срезая» высокочастотную составляющую нагрузки [1]. Поэтому, в зависимости от места расположения аппаратуры на КА, при одном и том же пиродаре мы будем получать в районе узлов их крепления ударные спектры различной формы. В дальней ударной зоне, где в основном и располагается бортовая аппаратура КА, мы должны будем наблюдать УС от пиродаров не высокочастотные, а средне- и низкочастотные. Такие УС не должны сильно отличаться от спектров при механических ударах. В этом случае прогнозирование эксплуатационного ударного нагружения по результатам механических ударных испытаний имеет смысл.

Результаты исследований показывают [2], что наибольшее отличие по форме и значениям ПрУС П и М ударов наблюдаются в ближней ударной зоне. Абсолютное и относительное их расхождение здесь достигают максимальных величин. Формы П и М ударов не совпадают друг с другом. ПрУС М удара получается на 20-30 % ниже ПрУС П удара. Поэтому, используя для прогноза данные М ударных испытаний мы будем получать заниженные величины, что недопустимо.

Наименьшее отличие по форме и значениям ПрУС П и М ударов наблюдаются в дальней ударной зоне. Их расхождения здесь достигают минимальных величин. Формы П и М ударов здесь практически совпадают и подобны друг другу. ПрУС М удара получается на 30-50% выше П удара. Поэтому, используя для прогноза ударного нагружения при пиродаре данные механических ударных испытаний мы будем получать завышенные величины, поэтому погрешности прогноза в этом случае идут в запас прочности, что допустимо при консервативном подходе.

В средней ударной зоне мы имеем промежуточный результат. Используя для прогноза ударного нагружения при пиродаре данные механических ударных испытаний мы будем получать здесь величины, близкие к искомым.

### **Литература**

1. Деменко О.Г. Передача ударной нагрузки через болтовое соединение элементов конструкции космического аппарата // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2022. № 4. С. 38-45.
2. Деменко О.Г., Бирюков А.С. К вопросу об определении параметров эквивалентного ударного импульса при испытаниях космических аппаратов // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2023. № 2. С. 70-77.

3. Деменко О.Г., Бирюков А.С. Особенности обработки ударной прочности десантного модуля космического аппарата (межпланетной станции) «Экзомарс-2020» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. № 2. С. 71-77.

УДК 532.517.4:536.24  
eLIBRARY.RU: 55.47.29; 55.49.07

**Лобанов И.Е.**

**Lobanov I.E.**

доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Технологический университет  
имени дважды Героя Советского Союза  
летчика-космонавта А.А. Леонова»

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
НЕИЗОТЕРМИЧНОСТИ НА ГИДРОСОПРОТИВЛЕНИЕ  
И ТЕПЛООБМЕН В ТРУБАХ С ПОЛУКРУГЛЫМИ  
ТУРБУЛИЗАТОРАМИ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ  
ВОЗДУХА НА БАЗЕ МОДЕЛИ МЕНТЕРА**

**THEORETICAL STUDY OF THE EFFECT OF NON-ISOTHERMI-  
CITY ON HYDRORESISTANCE AND HEAT TRANSFER IN PIPES  
WITH SEMICIRCULAR TURBULATORS DURING TURBULENT  
AIR FLOW BASED ON THE MENTER MODEL**

**Аннотация.** Расчётным методом было выявлено, что средние значения интенсифицированных неизотермических гидравлических сопротивлений и теплообмена явно меньше, чем аналогичные значения для гладких труб во всём диапазоне относительной температуры стенки; влияние на теплообмен температурного фактора в среднем больше, чем на гидросопротивление для всех исследуемых чисел Рейнольдса.

**Ключевые слова:** теплообмен, гидравлическое сопротивление, моделирование, изотермический, неизотермический, турбулизатор, канал, труба.

**Abstract.** The calculation method revealed that the average values of intensified non-isothermal hydraulic resistances and heat transfer are clearly less than similar values for smooth pipes in the entire range of relative wall temperature; the effect on heat transfer of the temperature factor is on average greater than on the hydraulic resistance for all the Reynolds

numbers studied.

**Keywords:** heat transfer, hydraulic resistance, modeling, isothermal, non-isothermal, turbulator, channel, pipe.

### **Метод исследования**

Настоящее исследование является логическим продолжением выше-указанных вычислительных методов [1, 3—6, 9—13, 15—17] для анализа турбулентного течения и теплообмена в трубах с полукруглыми турбулизаторами потока (диафрагмами) с различными относительными высотами, шагами для различных режимов течения теплоносителя с целью более подробного анализа интенсификации неізотермического теплообмена, а также гидросопротивления, для воздушных теплоносителей относительной температуры стенки (отношения температуры стенки к среднемассовой):  $\theta_c=0,4\div 4,0$ . Отличительной особенностью данного исследования, которая позволило учесть влияние неізотермичности на теплообмен и гидравлическое сопротивление в трубах с турбулизаторами, является совместное численное решение уравнений неразрывности, количества движения и энергии, в то время как в ранее сначала решались уравнения неразрывности и количества движения, а затем уже — уравнение энергии.

### **Результаты и обсуждение**

Общие различия в закономерностях изменения относительного теплообмена и гидросопротивления в зависимости от температурного фактора обосновываются тем, что его влияние на поля температур будут больше, чем на линии тока, поэтому и влияние на относительный теплообмен температурного фактора в среднем больше, чем на относительное гидросопротивление для всех исследуемых в статье параметров. Средние значения интенсифицированных неізотермических сопротивления  $\xi/\xi_0$  и теплообмена  $Nu/Nu_0$  явно меньше, чем аналогичные значения для гладких труб  $\xi_{гр}/\xi_{гр0}$  и  $Nu_{гр}/Nu_{гр0}$  во всём диапазоне относительной температуры стенки  $\theta_c$ . Полученные в статье данные указывают на то, что влияние температурного фактора в трубах с турбулизаторами ниже, чем в гладких трубах, что ранее было теоретически выявлено на основе интегральных моделей интенсифицированного теплообмена. С увеличением числа Рейнольдса средние значения  $\xi/\xi_0$  и  $Nu/Nu_0$  увеличиваются при снижении  $\theta_c < 1$ , т.е. при нагревании воздуха и увеличиваются при увеличении  $\theta_c > 1$ , т.е. при охлаждении воздуха. Следовательно, с увеличением числа Рейнольдса влияние температурного фактора  $\theta_c$  на относительные сопротивления и



теплообмен в трубах с турбулизаторами становятся ближе к аналогичным значениям для гладких труб. Теоретические данные позволили выявить закономерности относительного теплообмена и гидросопротивления в зависимости неизотермичности в тех областях, где ещё нет надёжных экспериментальных данных, что позволяет прогнозировать диапазоны увеличения и уменьшения интенсифицированного теплообмена.

### **Литература**

1. Лобанов И.Е. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах: Дисс. докт. техн. наук. М.: Изд-во МАИ, 2005. – 632 с.

**Секция 3**  
**«К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ И МЕХАНИКА**  
**КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА»**

УДК 629.78  
eLIBRARY.RU: 89.23.00

**Гостев А.Ю.**  
**Gostev A.Y.**  
НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва  
**Петухов В.Г.**  
**Petukhov V.G.**  
доктор технических наук, член-корреспондент РАН  
НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ВЫВЕДЕНИЯ**  
**КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ЭЛЕКТРОРАКЕТНОЙ**  
**ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ НА ВЫСОКУЮ**  
**ЭЛЛИПТИЧЕСКУЮ ОРБИТУ**

**OPTIMIZATION OF TRAJECTORY FOR INSERTING A**  
**SPACECRAFT WITH ELECTRIC PROPULSION SYSTEM INTO A**  
**HIGH ELLIPTICAL ORBIT**

**Аннотация.** Рассматривается задача оптимизации комбинированной схемы выведения космического аппарата на высокую эллиптическую орбиту типа «Молния» с последовательным использованием двигателей большой тяги и электроракетной двигательной установки. Решается задача доставки на целевую орбиту космического аппарата максимальной массы при заданной длительности перелета. Для оптимизации траекторий используется непрямой подход, основанный на использовании принципа максимума, осредненных уравнений движения и метода продолжения.

**Ключевые слова:** оптимизация траекторий космических аппаратов с малой тягой, высокая эллиптическая орбита, комбинированная схема выведения, принцип максимума.

**Abstract.** Optimization problem of combined insertion of spacecraft into "Molniya" high elliptical orbit with the sequential chemical and electric propulsion system phases is considered. Maximization problem of spacecraft final mass on target orbit with fixed flight duration is being

solved. An indirect approach based on the maximum principle, averaged dynamics and continuation method is used to optimize transfers.

**Keywords:** optimization of low-thrust trajectories, high elliptical orbit, combined space mission profile, maximum principle.

Комбинированная схема выведения космического аппарата (КА) на целевую орбиту включает в себя этап формирования промежуточной орбиты (ПО) с помощью двигателей большой тяги (как правило, с помощью двигателей разгонного блока или последней ступени ракеты-носителя) и перелет с этой промежуточной орбиты на целевую орбиту с помощью электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) КА. Комбинированная схема выведения позволяет реализовать компромисс между доставкой на целевую орбиту КА относительно малой массы за малое время с использованием только большой тяги и КА большой массы за длительное время с использованием только ЭРДУ.

Оптимизация комбинированной схемы выведения включает в себя оптимизацию участков перелета с большой и малой тягой и параметров стыковки этих участков, то есть параметров ПО. В известных работах рассматривается, как правило, оптимизация комбинированной схемы выведения на круговые целевые орбиты, в частности на геостационарную орбиту [1].

Оптимальные траектории перелета с малой тягой на высокую эллиптическую орбиту (ВЭО) типа «Молния» существенно отличаются от оптимальных траекторий перелета на круговые целевые орбиты. В частности, в работе [2] было показано, что характеристическая скорость на таких траекториях значительно увеличивается при приближении времени перелета к минимальному значению, а минимальный радиус перигея на оптимальной траектории перелета может находиться в плотных слоях атмосферы или лежать внутри Земли при достаточно малых высоте апогея начальной орбиты и времени перелета.

Рассматривается плоская задача выведения КА с ЭРДУ на ВЭО. В рамках рассматриваемой задачи принято, что орбитальный блок заданной массы, в составе разгонного блока (РБ) и КА, выводится на круговую опорную орбиту с заданной высотой. Далее, одним или двумя включениями двигательной установки РБ, КА выводится на некоторую эллиптическую ПО, высоты перигея и апогея которой не превосходят заданных значения высот перигея и апогея целевой ВЭО. Перелет КА с ПО на ВЭО осуществляется с помощью ЭРДУ, тяга и удельный импульс которой считаются заданными. Ставится задача

рассчитать зависимость максимальной массы доставляемого на ВЭО КА от длительности перелета.

Рассматривается движение КА в центральном ньютоновском гравитационном поле Земли. Участок перелета между опорной орбитой и ПО рассчитывается в импульсном приближении. Для оптимизации многовитковой траектории перелета с малой тягой между ПО и ВЭО используется принцип максимума для осредненных уравнений движения. Краевая задача принципа максимума решается методом продолжения по параметру. На первом этапе рассчитывается перелет КА с идеально-регулируемым двигателем за фиксированное время. Затем это решение продолжается в траекторию с минимальным временем перелета, на которой ЭРДУ работает непрерывно. Для преодоления методических трудностей, связанных с продолжением от задачи оптимального управления с фиксированным временем к задаче с неопределенным временем окончания, фактически решается задача минимизации тяги с дополнительным краевым условием на величину тяги, которое удовлетворяется подбором длительности перелета. Для реализации такого подхода тяга добавляется в фазовый вектор рассматриваемой динамической системы и вводится в рассмотрение сопряженная к тяге переменная. В результате второго этапа вычисляется минимальное время перелета, после чего на третьем этапе вычисляются траектории с минимальными затратами топлива при длительности перелета, превосходящей известную минимальную длительность.

Используя асимптотические свойства решений осредненных уравнений и описанную методику, удалось получить универсальную двумерную таблицу, определяющую зависимость характеристической скорости перелета на ВЭО за минимальное время от высот перигея и апогея промежуточной орбиты и универсальную трехмерную таблицу, определяющую зависимости характеристической скорости перелета на заданную ВЭО от высот перигея и апогея промежуточной орбиты, а также от отношения длительности перелета к минимальному времени перелета. Универсальность полученных таблиц проявляется, в частности, в их практической независимости от величин тяги и удельного импульса ЭРДУ и начальной массы КА при достаточно малой величине начального реактивного ускорения.

Использование полученных универсальных таблиц позволяет рассчитать требуемые затраты характеристической скорости от высот перигея и апогея и длительности перелета, что вместе с решением задачи перелета с опорной орбиты на ПО в импульсной постановке позволяет свести задачу оптимизации рассматриваемой комбинирован-

ной схемы перелета к задаче максимизации функционала (конечной массы КА) по высотам перигея и апогея ПО для заданной длительности перелета.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00329, <https://rscf.ru/project/22-19-00329/>.

### **Литература**

1. Konstantinov M.S., Petukhov V.G. Easy Engineering Technique of Optimal Electric Propulsion Trajectory Estimation. IAC-06-C4.4.06, 2006.
2. Петухов В.Г. Оптимальные многовитковые траектории выведения космического аппарата с малой тягой на высокую эллиптическую орбиту. Космические исследования, том 47, № 3, 2009, с. 271-279.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Ивашкин В.В.**

**Ivashkin V.V.**

доктор физико-математических наук, профессор  
главный научный сотрудник  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва  
НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва

**Иванюхин А.В.**

**Ivanyukhin A.V.**

кандидат технических наук  
научный сотрудник  
НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва  
РУДН, г. Москва

## **АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭЙЛЕРА-ЛАМБЕРТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОХОЦИМСКОГО-ЕГОРОВА**

## **AN ALGORITHM FOR SOLVING THE EULER-LAMBERT PROBLEM BASED ON THE OKHOTSIMSKY-EGOROV METHOD**

**Аннотация.** Рассматривается метод решения задачи Эйлера-Ламберта, предложенный В.А. Егоровым, основанный на работах Д.Е. Охотимского по анализу множества траекторий перелета между двумя заданными точками в центральном ньютоновском поле. Рассматривая задачу Эйлера–Ламберта как обратную задачи баллистики, удалось построить новый эффективный метод определения орбиты,

соответствующей заданному времени перелета. К преимуществам предлагаемого метода относятся ограниченность и понятная структура области определения решений, простота и наглядность алгоритма, явная зависимость получаемого решения от начальной скорости. В данной работе для решения задачи Эйлера–Ламберта использовался численный метод Галлея, был проведен анализ вычислительной сложности алгоритма, показавший высокую эффективность его использования.

**Ключевые слова:** задача Эйлера–Ламберта, определение орбит, импульсные перелеты.

**Abstract.** A method for solving the Euler-Lambert problem proposed by V.A. Egorov is presented, based on the work of D.E. Okhotsimsky on the analysis of a set of flight trajectories between two given points in the central Newtonian field. Considering the Euler–Lambert problem as the inverse of the ballistics problem, it was possible to obtain a new orbit determination method. The advantages of this method are the limitation and clarity of the solution definition region, the simplicity of the algorithm, and the dependence of the solution on the initial velocity. In this paper, the Halley numerical method was used to solve the Euler–Lambert problem. The computational complexity of the algorithm is investigated. The proposed algorithm has good computational efficiency.

**Keywords:** Euler-Lambert problem, orbit determination, impulsive orbital maneuvers.

Задача Эйлера–Ламберта является классической проблемой небесной механики, служащей для определения орбит небесных тел [1, 2, 3]. Традиционно эта задача формулируется как двухточечная краевая задача в рамках модели двух тел, в которой известны векторы положения в два разных момента времени.

В практической космонавтике эта задача приобрела новое значение и часто является основой для проектирования перелетов космических аппаратов. В этом случае предполагается, что орбита, соединяющая два заданных положения, является траекторией перелета, затраты на который определяются суммой двух импульсов скорости. Часто проведение проектно-баллистического анализа при оптимизации импульсных перелетов требует решения большого числа подобных задач. В связи с этим получение эффективного алгоритма решения с явным определением скорости на перелетной орбите является актуальной задачей.

Разработано много методов ее решения, сравнительный анализ некоторых из них приведен в работах Р. Бэттина, П. Эскобала [3],

Р. Рассела [4] и Е. Фантино [5]. Большинство из этих методов основано на том, что траектории между двумя точками пространства образуют однопараметрическое семейство орбит, соответствующих перелету между заданными точками за определенное время. Методы решения задачи Эйлера–Ламберта отличаются выбором параметра этого семейства, численного метода решения полученного нелинейного уравнения и правилом выбора начального приближения.

В.А. Егоров отметил, что результаты Д.Е. Охоцимского [6] по анализу баллистических перелетов можно использовать для построения нового, наглядного и несложного метода решения задачи Эйлера–Ламберта. В этом случае за параметр семейства берется угол наклона начальной скорости к начальной трансверсали, решение сводится к обратной задаче баллистики, и удастся получить связь между величиной и направлением начальной скорости для достижения конечного положения [6, 7, 8].

На основе этого подхода удалось разработать новый эффективный метод решения задачи Эйлера–Ламберта и провести тщательный анализ структуры решений [9, 10]. Разработан оригинальный метод определения длительности перелета. Предложен эффективный алгоритм решения задачи Эйлера–Ламберта [10], использующий итерации метода Галлея с оценкой второй производной с помощью конечно-разностной аппроксимации на двух последовательных приближениях. Разработана методика получения начальных приближений для всех типов орбит, для однооборотных и многооборотных решений. Оценка скорости сходимости показывает, что типичное количество итераций составляет около 5–7 для всех типов орбит, что является очень хорошим результатом для алгоритмов решения задачи Эйлера–Ламберта.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10206, <https://rscf.ru/project/22-79-10206/>.

### **Литература**

1. Субботин М.Ф. Курс небесной механики. Том 1. Гостехиздат. 1933. 321 с.
2. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. Москва: Наука, 1965, 540 с.
3. Escobal H.R. Methods of Orbit Determination: John Wiley and Sons, New York, 1965 (Русский перев.: П. Эскобал, Методы определения орбит. Изд. «Мир», М., 1970).

4. Arora N., Russell R.P. A fast and robust multiple revolution Lambert algorithm using a cosine transformation // Paper AAS 13-728, 2013, С. 1-20.
5. Torre Sangra D., Fantino E. Review of Lambert's problem // ISSFD 2015: 25th International Symposium on Space Flight Dynamics, 2015, С. 1-15.
6. Охоцимский Д.Е. Динамика космических полетов. Конспект лекций в МГУ. М.: Изд-во Московского университета. 1968 г. 158 с.
7. Wheelon A.D. Free flight of a ballistic missile // ARS journal. 1959. Т. 29. №. 12. p. 915-926.
8. Arlulkar P.V., Naik S.D. Solution based on dynamical approach for multiple-revolution Lambert problem // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 2011. Т. 34. №. 3. p. 920-923.
9. Ивашкин В.В. О применении метода Охоцимского–Егорова для решения задачи Эйлера–Ламберта // Доклады РАН. Физика. Технические науки, 2024, Т. 514, с. 58–62.
10. Ивановых А.В., Ивашкин В.В. Решение задачи Эйлера–Ламберта на основе баллистического подхода Охоцимского–Егорова, *Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы*. 2024, Т. 58, № 6, (в печати).

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Санталова Я.А.**

**Santalova Y.A.**

студентка

Технологического университета

им. А.А. Леонова, г. Королев

## **КОНЦЕПЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЛУННОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ С БАЛЛИСТИЧЕСКИМ ОБОСНОВАНИЕМ ЕЁ РАСПОЛОЖЕНИЯ**

### **PERSPECTIVE ORBITAL MOON STATION CONCEPT WITH POSITIONING BALLISTIC FOUNDATION**

**Аннотация.** В статье рассматривается баллистическое обоснование и предлагаются базовые и необходимые модули для лунной орбитальной станции, размещенной в точке Лагранжа  $L_2$ . Основной идеей является выбор точки  $L_2$ , где гравитационные силы Земли и



Луны сбалансированы, что обеспечивает оптимальные условия для космической станции. Рассмотрены различные параметры орбит функционирования станции, способы доставки модулей на орбиту и обеспечения безопасности полетов. Автор подчеркивает важность изучения Луны и космоса с целью развития новых технологий, открытия новых знаний и ресурсов. Через анализ преимуществ прямолинейных гало-орбит и орбит Ляпунова, аргументируется выбор прямолинейной орбиты для размещения станции. Работа описывает комплексный подход к проектированию и обеспечению функционирования космической станции на окололунной орбите, выделяя устойчивость, безопасность и научные исследования как основные принципы проекта.

**Ключевые слова:** лунная станция, баллистика, расчет, точка либрации, модули.

**Abstract.** The article examines the ballistic justification and proposes the basic and necessary modules for the lunar orbital station located at the  $L_2$  Lagrange point. The main idea is to choose the  $L_2$  point, where the gravitational forces of the Earth and the Moon are balanced, which provides optimal conditions for the space station. Various parameters of the orbits of the station's operation, methods of delivering modules into orbit and ensuring flight safety are considered. The author emphasizes the importance of studying the Moon and space in order to develop new technologies, discover new knowledge and resources. Through the analysis of the advantages of rectilinear halo orbits and Lyapunov orbits, the choice of a rectilinear orbit for station placement is argued. The work describes an integrated approach to the design and operation of a space station in lunar orbit, highlighting sustainability, safety and scientific research as the main principles of the project.

**Keywords:** lunar station, ballistics, calculation, libration point, modules.

**Введение.** В современной космонавтике одним из важнейших направлений является изучение дальнего космоса и Луны, естественного спутника Земли. Развитие технологий позволяет начать научное освоение Луны на постоянной основе путем размещения станции на окололунной орбите. Выбор параметров орбит функционирования лунной станции связан с точками Лагранжа, в частности с точкой  $L_2$ , которая позволяет обеспечивать непрерывную связь со Землей.

**Выбор параметров орбит функционирования лунной станции. Точки либрации.** Точки Лагранжа – это точки в пространстве, где гравитационные поля двух массивных тел компенсируют друг друга.

Существует пять таких точек, из которых три являются неустойчивыми, а две – устойчивыми. Точка  $L_2$  в системе Земля-Луна является наиболее подходящей для размещения станции, так как обеспечивает практически непрерывную связь с Землей. Гало-орбиты – это трехмерные орбиты возле точек Лагранжа, которые требуют корректировки двигателями для поддержания стабильности. В таком случае можно найти положения в пространстве, в которых гравитационные поля обоих массивных тел будут компенсировать центростремительную силу всей вращающейся системы [2]. Данную станцию планируется поместить в точку  $L_2$  в системе Земля-Луна, т.к. размещение космического аппарата (КА) на орбите вокруг такой точки позволит осуществлять практически непрерывную связь с Землей [1].

**Гало-орбита.** Это периодическая трехмерная орбита возле точек Лагранжа  $L_1$ ,  $L_2$  или  $L_3$  в задаче трех тел орбитальной механики. Существует множество гало-орбит, но для долгосрочного существования обитаемой станции в окололунном пространстве требуются особые условия. Почти прямолинейные гало-орбиты (NRHO) — это гало-орбиты системы Земля-Луна с перицентральной расстоянием менее 20 тыс. км. Они обеспечивают хорошие условия освещенности и радиовидимости, а также позволяют поддерживать видимость любого участка на Луне. Т.к. гало-орбиты нестабильны, для ее поддержания будут необходимы небольшие корректировки с помощью двигателей [2].

**Семейства.** Для нашей цели, требуется такая орбита, чтобы можно было обеспечить возможность длительного существования обитаемой станции в окололунном пространстве. Основными кандидатами являются:

1. Почти прямолинейные гало-орбиты (NRHO) – это гало-орбиты системы трех тел Земля-Луна с перицентральной расстоянием менее 20 тыс. км.

Плюсы данной орбиты:

- хорошие условия освещенности и радиовидимости.
- условия видимости любого участка на Луне примерно стационарны, минимальное расстояние от поверхности Луны около 3 000 км, максимальное около 70 000 км [3].

2. Орбита Ляпунова – это плоская квазипериодическая орбита, по которой объект может двигаться вокруг точки Лагранжа в рамках задачи трех тел. Любая орбита вокруг точек Лагранжа  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  динамически неустойчива, и малые возмущения орбиты со временем возрастают.

NRHO имеет слегка изогнутые или почти прямые стороны между близкими проходами с орбитальным телом. Этот тип орбиты также может использоваться с другими телами и в Солнечной системе, и за ее пределами.

Прямолинейная гало-орбита имеет несколько преимуществ перед орбитой Ляпунова:

**Энергоэффективность:** Прямолинейная гало-орбита использует меньше энергии для поддержания орбиты, поскольку она требует постоянного ускорения только в одном направлении, тогда как орбита Ляпунова требует ускорения в двух направлениях для поддержания стабильного рисунка орбиты.

**Простота:** Орбита Ляпунова имеет сложную траекторию движения, которая требует более сложного управления и навигации, в то время как прямолинейная гало-орбита является более простой и понятной для космических аппаратов.

**Автором был произведен расчет траектории полета КА в окрестности точки  $L_2$ .**

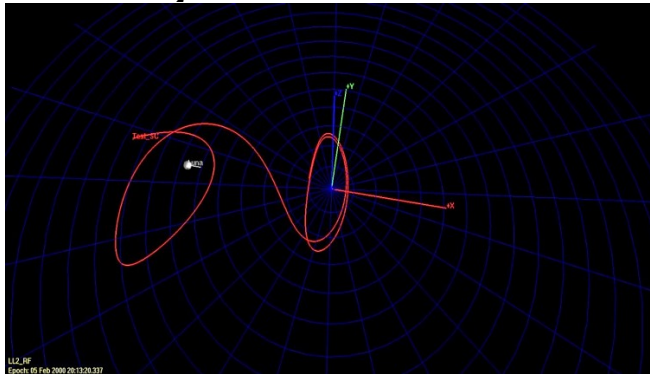


Рис.1. Изображение расчета траектории полета в окрестности  $L_2$

### Обоснование выбора орбиты для предполагаемой станции.

Рассмотрим такое уравнение, где функция задана:

$$\frac{du}{dt} + At(u) = 0, \quad (1)$$

где решением данной системы будет являться:

$$U(t) = e^{i\lambda t} \left( \sum_{k=0}^n a_k t^k \right). \quad (2)$$

Данное уравнение можно упростить и привести к такому виду систем, как:

Где

$$\ddot{x} - 2\dot{y} = \frac{\partial u}{\partial x} \Rightarrow x'' - 2y' = u'_x; \quad (3)$$

$$\ddot{y} + 2 \cdot \dot{x} = \frac{\partial u}{\partial y} \Rightarrow y'' + 2x' = u'_y; \quad (4)$$

$$\ddot{z} = \frac{\partial u}{\partial z} \Rightarrow z'' = u'_z, \quad (5)$$

$$U(x; y) = \frac{x^2 + y^2}{2} + \frac{1-\mu}{r_1} + \frac{\mu}{r_2} + \frac{\mu(1-\mu)}{2}. \quad (6)$$

Система определяется интегралом Якоби и имеет пять положений равновесия, все они находятся в плоскости  $O_{xy}$  и называются точками либрации [4].

Используем замену, приведем систему дифференциальных уравнений высшего порядка к системе дифференциальных уравнений первого порядка, где  $f(\xi)$  – нелинейная функция, получим:

$$\xi' = f(\xi), \quad (7)$$

где

$\xi$  – фазовый вектор переменных  $\Rightarrow \xi(t) = [x; y; z; \dot{x}; \dot{y}; \dot{z}]$ .

$\xi' = f(\xi)$  имеет решение:

$$\xi = \xi_0 t. \quad (8)$$

Далее представим это условно в системе координат  $\xi\sigma$ .

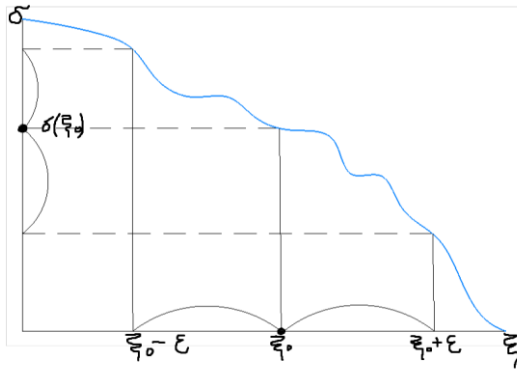


Рис. 2. Система координат зависимости нелинейного вектора от фазового

Представив это условно в системе координат  $\xi\sigma$ , видно, что при  $\varepsilon > 0 \exists \delta > 0$ , для которого выполняется условие  $\|\xi(t_0) - \varepsilon_0(t_0)\| < \delta$ , при выполнении которого справедливо неравенство частного случая для стягивания отрезков в точки:

$$p(\xi(t); \Gamma) = \int \|\xi(t) - \xi_0\| < \varepsilon \text{ при } \varepsilon > \varepsilon_0 \text{ для } \lim_{t \rightarrow \infty} p(\xi(t); \Gamma) \geq 0. \quad (9)$$

Следовательно, решение стремится практически к асимптотической устойчивости. Исходя из выше написанного, можно сказать, что прямолинейные гало-орбиты неустойчивы и для коррекции орбиты будут необходимы небольшие импульсы. Про орбиту Ляпунова можно сказать, что плоские колебания и вращения являются неустойчивыми по отношению к возмущениям координат и скоростей, т.к. их периоды зависят от начальных условий, которые отличаются от условий прямолинейных гало-орбит. У орбиты Ляпунова при начальных условиях, также будет выполняться:

$$p(\xi(t); \Gamma) = \int \|\xi(t) - \xi_0\| < \varepsilon \text{ при } \varepsilon \geq \varepsilon_0 \text{ для } \lim_{t \rightarrow \infty} p(\xi(t); \Gamma) > 0. \quad (10)$$

Таким образом, если решения меньше единицы, то орбита является асимптотически устойчивой, если решение превышает единицу, то орбита является неустойчивой. Можно сделать вывод, что прямолинейная гало-орбита имеет меньшую неустойчивость, чем орбита Ляпунова. Именно по этим характеристикам мы и подбираем орбиту для нахождения будущей станции [5].

**Предназначение.** Лунная орбитальная станция – это амбициозный проект, который будет играть важную роль в исследовании и освоении Луны. Космическая станция будет необходима для следующих целей: научные исследования, разработка технологий, исследовательские миссии (станция будет служить отправной точкой для исследовательских миссий на лунную поверхность) [6].

**Конфигурация.** Станция будет состоять из нескольких модулей. Все модули будут однотипны по форме исполнения для того, чтобы они могли легко состыковываться и выводиться на орбиту с помощью РН одного класса. Модули, которые будут входить в состав станции, будут предназначены для разных целей, начиная от места проживания экипажа, заканчивая местом для проведения различных научных исследований. В состав входят такие модули, как центральный модуль, шлюзовой модуль, технологический модуль, астрофизический модуль, переходной модуль, жилой модуль, лабораторно-исследовательский модуль.

**Заключение.** В данной статье было баллистически обоснованно расположение перспективной Лунной орбитальной станции, а также предложен состав модулей. Точка Лагранжа  $L_2$  является уникальным местом, где гравитационные силы Земли и Луны идеально сбалансированы, что делает ее идеальным местом для размещения космической станции.

## Литература

1. Е.В. Баринава «Основы теории устойчивости движения применительно к задачам космической техники» 2023
2. Маркеев А.П. Точки либрации в небесной механике и космодинамике. «Наука», 1978
3. Eismont N., Dunham D., Jen S.-C., Farquhar R. Lunar Swingby as a Tool for Halo-Orbit Optimization in Relict-2 Project // Proceeding of the ESA Symposium on Spacecraft Flight Dynamic, Germany, 30-4 October, 1991 (ESA SP-326, December 1991), pp.435-439.
4. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения: учебное пособие для механико-математических специальностей вузов.
5. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения: учебное пособие для вузов.
6. Gateway Memorandum for the Record: URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/gateway\\_domestic\\_and\\_international\\_benefits-memo.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/gateway_domestic_and_international_benefits-memo.pdf)

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Иванюхин А.В.**

**Ivanyukhin A.V.**

кандидат технических наук

научный сотрудник

НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва

РУДН, г. Москва

**Ивашкин В.В.**

**Ivashkin V.V.**

доктор физико-математических наук, профессор

главный научный сотрудник

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва

## НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕЛЁТ К АСТЕРОИДУ АПОФИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВАРИАНТНЫХ МНОГООБРАЗИЙ У ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ

### LOW-ENERGY TRANSFER TO THE ASTEROID APOPHIS USING INVARIANT MANIFOLDS OF LIBRATION POINTS

**Аннотация.** Рассматривается вариант низкоэнергетического перелета к околоземному астероиду Апофис (99942, Apophis) космического аппарата с малой тягой, для снижения затрат топлива на перелет предлагается схема с использованием транзитной траектории в окрестности коллинеарной точки либрации, образованной ее инвариантным многообразием. Приводятся численные примеры расчета низкоэнергетических траекторий. Полученные результаты сравниваются с решениями, полученными в рамках метода точечных сфер действия.

**Ключевые слова:** низкоэнергетические перелеты, оптимальное управление, малая тяга, астероидно-кометная опасность.

**Abstract.** A low-energy flight to the near-Earth asteroid Apophis (99942) of a low-thrust spacecraft is considered. To reduce fuel costs for the flight, it is proposed to use a transit trajectory near the collinear libration point, based on its invariant variety. Examples of low-energy trajectories are given. The obtained examples are compared with solutions using the method of point spheres of influence.

**Keywords:** low-energy transfers, optimal control, low-thrust, asteroid impact avoidance.

Исследование Солнечной системы не ограничивается только изучением планет, важными для понимания ее строения и эволюции являются также малые тела, как астероиды и кометы. По данным Центра малых планет Международного астрономического союза известно уже больше 1.3 млн таких объектов в Солнечной системе. Особый интерес представляют околоземные объекты. С одной стороны, они находятся в одной области Солнечной системы с Землей и могут содержать вещество ранних этапов формирования нашей планеты. С другой стороны, околоземные астероиды несут в себе риск столкновения во время тесных сближений с Землей.

Одним из наиболее опасных является астероид Апофис (99942, Apophis), который будет пролетать окрестность Земли на минимальном расстоянии (сопоставимом с ГСО) в 2029 году. В момент этого сближения произойдет гравитационный маневр, и его

орбита сильно изменится. Результаты этого сближения трудно прогнозируемы, следующее сближение с Землей ожидается только в 2036 году [1, 2]. Большинство исследователей полагает, что в обозримом будущем угрозы столкновения Земли с Апофисом нет. Однако, все будет зависеть от пролета в 2029 году.

Такое сближение Апофиса с Землей открывает дополнительные возможности проектирования мисси для его исследования, целью которой может быть его изучение с близкого расстояния, уточнение траектории движения и доставка образцов на Землю [3, 4]. Вход астероида в грависферу Земли является уникальным для подобных миссий. Но в месте с этим требует проектирования траектории в наиболее полной математической модели движения: задачи трех (Солнце – Земля – КА) или четырех (Солнце – Земля – Луна – КА) тел.

Одним из перспективных механизмов реализации такой миссии могут служить низкоэнергетические перелеты, использующие транзитные траектории в окрестности одной из коллинеарных точек либрации L1 или L2 системы Солнце-Земля. Использование такой траектории приводит к минимальным изменениям полной энергии по траектории, и тем самым позволяет снизить затраты топлива за счет динамики движения КА в системе трех тел.

Еще одним способом повышения эффективности межпланетных миссий является использование для их реализации электроракетных двигательных установок (ЭРДУ) с высоким удельным импульсом тяги, что позволяет существенно сократить затраты топлива на перелет. Однако, траектории перелета с малой тягой характерны медленным изменением константы энергии, поэтому типичная отлетная траектория нуждаются в длительном наборе энергии для выхода на гелиоцентрический участок. Для сокращения времени перелета при маневрировании около Земли можно использовать разгонный блок для получения промежуточный орбиты.

Таким образом при движении в грависфере Земли целесообразно рассмотреть три участка: участок работы большой тяги, участок работы малой тяги и движение по транзитной траектории в окрестности точки либрации. Движение по транзитной траектории позволяет покинуть окрестность Земли и выйти на гелиоцентрическую траекторию. После чего необходимо произвести маневр перелета КА к астероиду Апофис.

Предложенный подход позволяет отказаться от модели грависфер нулевой протяженности и проектировать перелет в рамках эфемеридной задачи трех- или четырех- тел. Для решения задачи оптимизации перелета с малой тягой используется принцип



максимума Понтрягина в сочетании с методом продолжения по параметру. Приводятся численные примеры расчета низкоэнергетических траекторий. Полученные результаты сравниваются с решениями, полученными в рамках метода точечных сфер действия. Данная работа продолжает цикл исследований [1, 3, 4] и [5, 6, 7].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10206, <https://rscf.ru/project/22-79-10206/>.

### **Литература**

1. Ивашкин В.В., Стихно К.А., Гуо П. О структуре множества вероятных траекторий соударения астероида Апофис с Землей в 2036 г // Доклады Академии наук. 2017, Т. 475, № 4, с. 389-394.
2. Шустов Б.М., Поль В.Г. О методе радиомаяка для уточнения орбиты астероида // Научные труды Института астрономии РАН. 2020, Т. 5, №. 6, с. 380-387.
3. Ивашкин В.В., Крылов И.В. Оптимизация траекторий перелета космического аппарата с большой и малой тягой к астероиду Апофис // Космические исследования. 2014, Т. 52, № 2, с. 113-113.
4. Ивашкин В.В., Лан А. Анализ орбитального движения спутника астероида Апофис // Космические исследования. 2017, Т. 55, №. 4, с. 268-277.
5. Иванюхин А.В., Ивашкин В.В., Петухов В.Г., Юн Сон Ук. Проектирование низкоэнергетических перелетов к Луне с малой тягой на траектории временного захвата // Космические исследования. 2023, Т. 61, № 5, с. 368–381.
6. Ivanyukhin A.V., Ivashkin V.V., Petukhov V.G., Sung Wook Yoon. Low-Energy Lunar Transfer Design Using High- And Low-Thrust on Ballistic Capture Trajectories // Proceedings of the International Astronautical Congress, Paper IAC-23.C1.9.7, IAF Astrodynamics Symposium, 2024, Vol. 2, pp. 896-905.
7. Sung Wook Yoon, Petukhov V.G., Ivanyukhin A.V. An approach for end-to-end optimization of low-thrust interplanetary trajectories using collinear libration points // Acta Astronautica. 2024, V. 221, pp. 12-25.

**Жамков А.С.**

**Zhamkov A.S.**

заместитель начальника отделения –  
начальник отдела АО «ЦНИИмаш»

**Мясников В.И.**

**Myasnikov V.I.**

инженер  
АО «ЦНИИмаш», г. Королев

**Савченко А.В.**

**Savchenko A.V.**

советник генерального конструктора  
по автоматическим космическим системам  
и комплексам АО «ЦНИИмаш», г. Королев

## **ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К ОРБИТАЛЬНОМУ СЕГМЕНТУ МНОГОСПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

### **APPROACH OF THE VALIDITY OF THE REQUIREMENTS FOR THE ORBITAL SEGMENT OF THE REMOTE SENSING MULTI- SATELLITE CONSTELLATION**

**Аннотация.** В результате численного моделирования и аналитических расчетов определены требования к орбитальному сегменту многоспутниковой системы на примере системы "Грифон". Полученные требования соответствуют условию максимальной периодичности мониторинга территории Российской Федерации заданным количеством космических аппаратов (КА). Рассмотрено изменение требований, предъявляемых к орбитальному сегменту в процессе развертывания.

**Ключевые слова:** многоспутниковая система, орбитальная группировка, малый космический аппарат, полоса захвата, периодичность наблюдения.

**Abstract.** The requirements for the orbital segment of a multi-satellite system are determined as a result of numerical modeling and analytical calculations using the example of the "Grifon" system. The obtained requirements correspond to the condition of maximum periodical frequency of monitoring of the Russian Federation territory by a given number of

spacecraft. The variety in the requirements for the orbital segment during the deployment are considered.

**Keywords:** Multi-satellite system, satellite constellation, small spacecraft, swath, periodical frequency of monitoring.

Разворачивание орбитального сегмента включает в себя 3 последовательных запуска по 44 малых космических аппаратов (МКА) типа «кубсат» форм-фактора 16U в каждую плоскость. Полный состав орбитальной группировки (ОГ) информационной многоспутниковой системы (ИМС) насчитывает 132 МКА. Баллистическая структура орбитального сегмента должна соответствовать условию сплошного покрытия полосами съемки в обзорном режиме заданной территории в определенный интервал времени.

Численное моделирование выполнено с помощью программного комплекса, включающего учет влияния на движение МКА всевозможных факторов: несферичность гравитационного поля Земли, притяжение Луны и Солнца, воздействие атмосферы [1, 2].

Получена зависимость ширины полосы захвата от значения широты, а также величина максимального межтрассового пропуска в зависимости от высоты орбиты КА.

Определен диапазон высот орбиты для первого этапа развертывания с последующим изменением высоты при развертывании всей системы до 132 МКА, требования к точности ее удержания и точности фазового положения КА между плоскостями. Показано, что требования по удержанию высоты, предъявляемые к этапу развертывания 44 МКА, являются достаточно строгими. Это обусловлено тем, что данное количество МКА является почти предельным для обеспечения периодичности наблюдения, составляющей 4 суток.

Путем аналитических расчетов и численного имитационного моделирования были сформированы требования к баллистическому построению ОГ, позволяющие обеспечить сплошную обзорную съемку территории Российской Федерации с периодичностью до 4 суток на этапе развертывания 44 МКА с повышением периодичности до 2 суток при дальнейшем развертывании до 132 МКА.

### **Литература**

1. Матвеев Н.К. Моделирование возмущенного орбитального движения космического аппарата: практическое пособие / Н.К. Матвеев; Балт. гос. тех. ун-т. – СПб., 2019. – 29 с.

2. Храмов, Андрей Александрович Возмущенное движение космических аппаратов: учебное пособие / А. А. Храмов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2022. – 75 с.

УДК 629.784

eLIBRARY.RU: 89.17.25

**Пятых Н.С.**

**Ryatykh N.S.**

инженер 1 категории

АО «ЦНИИмаш», г. Королев

**ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МНОГОСПУТНИКОВОЙ  
ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ  
АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ  
С ПОМОЩЬЮ КРАТНЫХ ОРБИТ**

**DESIGN OF REMOTE SENSING MULTI-SATELLITE  
CONSTELLATION APPROACH BY MEANS MULTIPLE ORBITS**

**Аннотация.** Представляется методический подход к определению оптимальных параметров орбит космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в составе орбитальной группировки (ОГ) для решения тематических задач с использованием кратных (самозамыкающихся) орбит разного периода. Приводится полученная в результате численного моделирования согласно данному подходу зависимость количественного состава ОГ КА ДЗЗ от полосы захвата аппаратуры КА.

**Ключевые слова:** орбитальная группировка, ДЗЗ, численное моделирование, период замыкания орбиты, трассы спутника, кратные орбиты.

**Abstract.** The methodical approach of optimal orbit parameters of remote sensing satellite constellation detecting for solving the thematic issues using multiple self-closing orbits with different period is presented. The dependence of the satellite constellation numerical quantitative composition on swath width of satellite's equipment due to numerical modeling based on presented approach.

**Keywords:** satellite constellation, remote sensing of the Earth, numerical modelling, orbit closures period, subsatellite tracks, multiple orbits.

Метод определения оптимальных орбитальных параметров для орбитальной ОГ КА ДЗЗ с использованием кратных (самозамыкающихся) орбит основан на свойстве трасс этих орбит повторяться через заданное количество суток  $n$  и количество витков  $\beta$  [1, 2].

Под оптимальным составом ОГ КА ДЗЗ имеется в виду ОГ, предназначенная для решения задачи сплошной обзорной съемки территории Российской Федерации с прилегающими акваториями морей для выявления факта ЧС.

Период повторения трасс означает, что трасса повторяется после целого числа витков за целое число драконических периодов, где драконический период спутника – это промежуток времени между последовательными прохождениями спутником восходящего узла на фиксированном меридиане Земли [3]. Ввиду того, что прецессия восходящего узла гораздо медленнее вращения Земли, драконический период немного отличается от солнечных суток, а в случае солнечно-синхронной орбиты (ССО) они равны. На повторение трасс влияют 3 орбитальных параметра: высота, наклонение и эксцентриситет

В условиях многоспутниковых ОГ КА ДЗЗ каждый раз необходимо интегрировать орбиты этих аппаратов и определять, который из них может провести съемку заданного региона. В случае же самозамыкающихся орбит проекция трасс выбранного КА на Землю остается неизменной в пределах периода самозамыкания орбиты, что делает это свойство удобным при целевом планировании многоспутниковых систем ДЗЗ [3].

Путем численного моделирования определены оптимальные подспутниковые трассы космического аппарата ДЗЗ. Проведены несколько сценариев моделирования, выбранных исходя из параметров съемочной аппаратуры различных типовых спутников.

В результате проведенных расчетов были установлены оптимальные орбитальные параметры для ОГ КА ДЗЗ применительно к тематическим задачам, выполняемым на территории РФ. Предложенные орбитальные параметры ОГ КА позволяют любой участок РФ сделать доступным для наблюдения.

### **Литература**

1. Никольский В.В. Проектирование сверхмалых космических аппаратов. Учебн. пособ.; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2012, 59 с.
2. Степанов А. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи. Технологии и средства связи,

Специальный выпуск «Спутниковая связь и вещание-2014», 2013, № 6 (2), с. 18–20.

3. Basem Abd Ekareem Anwar Elsaka. Simulated satellite formation flights for detecting the temporal variations of the Earth's gravity field. Dissertation. German geodetic commission. Munich, 2012. – 168 p.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU 89.57.25

**Асокова Ю.В.**

**Asoskova Yu.V.**

ведущий инженер

АО «ЦНИИмаш», г. Королев

**ОЦЕНКА ОПЕРАТИВНОСТИ ДОСТАВКИ ДАННЫХ  
С МНОГОСПУТНИКОВОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ  
В НАЗЕМНЫЕ ПУНКТЫ ПРИЁМА ИНФОРМАЦИИ**

**ASSESSING THE EFFICIENCY OF DATA DELIVERY FROM A  
PROMISING MULTI-SATELLITE ORBITAL CONSTELLATION  
TO GROUND-BASED COMPLEX FOR RECEIVING  
INFORMATION**

**Аннотация.** Приводятся результаты имитационного моделирования с целью оценки оперативности доставки данных с перспективной многоспутниковой орбитальной группировки (ОГ) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в наземные пункты приема информации (ППИ). Показано существенное преимущество передачи данных на Землю за счет наличия межспутниковой линии связи (МЛС) в сравнении с традиционным способом.

**Ключевые слова:** многоспутниковая космическая система, межспутниковая линия связи, наземный пункт приема информации, орбитальная группировка, дистанционное зондирование Земли.

**Abstract.** The report presents the results of simulation modeling conducted in order to assess the efficiency of data delivery from an advanced multi-satellite orbital constellation for remote sensing of the Earth to ground-based complex for receiving information. A significant advantage of data transmission to Earth is shown due to the presence of an inter-satellite communication link in comparison with the conventional method.

**Keywords:** multi-satellite space system, inter-satellite communication link, ground-based complex for receiving information, satellite constellation, remote sensing of the Earth.

В последнее время активно развивается тенденция создания многоспутниковых космических систем на основе малых космических аппаратов. Ввод новых КА в ОГ может привести к неравномерной загрузке КА и наземного комплекса приема, обработки и распространения информации (НКПОР) и, как следствие, к нарушению передачи данных. В связи с этим возникает необходимость оценить возможность существующих ППИ из состава Единой территориально-распределенной информационной системы дистанционного зондирования Земли из космоса (ЕТРИС ДЗЗ [1]) обеспечить выполнение (полноту) приема целевой информации с перспективной многоспутниковой ОГ КА ДЗЗ, в том числе за счет наличия МЛС.

Для осуществления передачи данных с перспективной многоспутниковой ОГ КА ДЗЗ на Землю рассмотрены два варианта сброса:

- прямой сброс данных с КА ДЗЗ в ППИ;
- сброс данных с КА ДЗЗ в ППИ с использованием МЛС.

Критерием эффективности передачи данных в ППИ выступала оперативность, под которой понимается длительность времени от момента записи данных наблюдения в ЗУ КА до момента их передачи на ППИ [2].

В процессе моделирования оценивались такие параметры как объем данных в ЗУ КА, площадная и информационная производительность КС, а также среднее время доставки данных с учетом и без учета МЛС.

Полученные результаты позволяют оценить возможность существующих ППИ обеспечить выполнение приема целевой информации с перспективной многоспутниковой ОГ КА ДЗЗ и подтверждают преимущество передачи данных на Землю за счет наличия МЛС в сравнении с традиционным способом, что актуально для перспективной многоспутниковой ОГ КА ДЗЗ.

### **Литература**

1. Заичко В.А., Шведов Д.О., Кутумов А.А. О состоянии и развитии российской государственной космической системы дистанционного зондирования Земли // Сборник информационных материалов (научно-практический журнал), выпуск № 2, 2022 г.

2. Балухто А.Н. Основы исследования эффективности космических систем дистанционного зондирования Земли. Москва, 2022 г.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Корянов В.В.**

**Koryanov V.V.**

кандидат технических наук  
доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Кухаренко А.С.**

**Kukhareenko A.S.**

аспирант

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

## **УГЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СПУСКАЕМОГО АППАРАТА С УПРАВЛЕНИЕМ ВНУТРЕННЕЙ ПОДВИЖНОЙ МАССОЙ**

### **ANGULAR MOTION OF THE DESCENT VEHICLE CONTROLLED BY AN INTERNAL MOVING MASS**

**Аннотация.** В работе рассмотрена динамика углового движения спускаемого аппарата с управлением при помощи смещения центра масс. Смещение центра масс выполнено при помощи внутренней подвижной массы, роль которой выполняет полезная нагрузка. Разработана математическая модель углового движения управляемого спускаемого аппарата. Предложено и разработано экспериментальное устройство для верификации математической модели. На испытательном устройстве выполнены измерения. Сделан вывод о правильности записанной математической модели.

**Ключевые слова:** спускаемый аппарат, внутренняя подвижная масса, полезная нагрузка, надувное тормозное устройство, математическая модель, управление движением.

**Abstract.** The paper examines the dynamics of the angular motion of a descent vehicle controlled by shifting the center of mass. The center of mass is shifted using an internal moving mass, the role of which is played by the payload. A mathematical model of the angular motion of a controlled descent vehicle has been developed. An experimental device for verification of the mathematical model was proposed and developed. Measurements are made on the test device. A conclusion is drawn about the correctness of the developed mathematical model.



**Keywords:** descent vehicle, internal moving mass, payload, payload, inflatable aeroshell, mathematical model, motion control.

Управление движением летательного аппарата аэрокосмического назначения осуществляется за счет создания управляющих сил и моментов. Известны следующие способы создания управляющих воздействий:

1. При помощи аэродинамических органов управления
2. При помощи газодинамических органов управления [1]
3. Методом смещения центра масс

Последний из перечисленных методов создания управляющих сил и моментов имеет следующие преимущества перед первыми двумя:

1. Перемещаемые массы, а также механизмы для их перемещения расположены внутри корпуса летательного аппарата.
2. В сопоставлении с газодинамическими органами управления не требуется наличия топлива для создания управляющих сил при движении в атмосфере.
3. Метод управления перемещением внутренних масс применим как в атмосфере, так и за ее пределами. Реализация метода управления возможна при наличии аэродинамических или реактивных сил [2].

Управление движением летательного аппарата возможно осуществлять как за счет линейного перемещения подвижной массы, так и за счет изменения ее углового положения [3]. Второй из представленных методов рассмотрен в работе.

Разработана математическая модель движения спускаемого аппарата, управляемого внутренними подвижными массами. Так же в работе проведена проверка правильности записанной математической модели.

Решены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель углового движения спускаемого аппарата, управляемого внутренними подвижными массами.
2. Разработан стенд для верификации математической модели.
3. Проведен эксперимент и анализ экспериментальных данных

Рассматриваемый в работе спускаемый аппарат оснащен надувным тормозным устройством. Описание его конструкции и принципа управления приведено в работе [4].

Модель стенда, предназначенного для верификации составленной математической модели, представлена на рисунке 1.

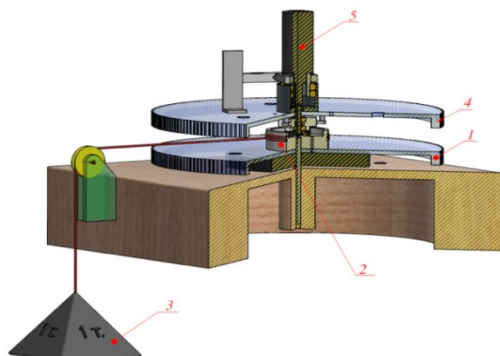


Рис. 1. Модель экспериментального устройства

Основные элементы экспериментального устройства обозначены на рисунке 1 следующим образом:

1. Несущий диск, который представляет из себя корпус летательного аппарата
2. Барабан для намотки нити
3. Груз для создания момента внешних сил
4. Несомый диск, который представляет из себя внутреннюю подвижную массу
5. Электродвигатель для создания внутреннего момента между несомым и несущим дисками

Данный стенд позволил измерить зависимость изменения угловых величин несомого и несущего тела от времени и сопоставить их с теоретическими результатами. Из сопоставления полученных результатов сделан вывод о правильности составленной математической модели.

### Литература

1. Калугин В.Т. Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 688 с.: ил.
2. Menon, P. Integrated guidance and control of moving mass actuated kinetic warheads / P. Menon, G. Sweriduk, E. Ohlmeyer // Journal of Guidance Control & Dynamics. — 2004. — № 27. — P. 118 — 126.
3. В.М. Atkins, “Mars precision entry vehicle guidance using internal moving mass actuators,” Ph.D. dissertation, Virginia Tech, 2014.
4. Кухаренко А.С., Корянов В. В. Угловое движение спускаемого аппарата при управлении методом поворота полезной нагрузки.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Ельников Р.В.**

**Yelnikov R.V.**

кандидат технических наук  
старший научный сотрудник  
НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва

**Жуков Г.Е.**

**Zhukov G.E.**

аспирант  
МАИ, г. Москва

## **О ЗАДАЧЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОРБИТАХ МАЛОГО НАКЛОНЕНИЯ**

### **ON THE TASK OF DEPLOYING A SPACE SYSTEM FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH IN LOW-INCLINATION ORBITS**

**Аннотация.** В работе рассматривается задача проектирования комбинированных схем развертывания космических систем ДЗЗ на околокруговых орбитах малого наклоения с использованием химического разгонного блока для перехода КА с опорной на промежуточную эллиптическую орбиту и дальнейшего перевода КА на рабочую траекторию с помощью электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) самого КА. Задача состоит в определении оптимальных параметров промежуточной орбиты, при ограничении на суммарное время перехода. В качестве критерия оптимальности рассматривается конечная масса КА, которая максимизируется.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, электроракетная двигательная установка, трехимпульсный перелет, орбитальная группировка, оптимизация.

**Abstract.** This paper explores the problem of designing combined schemes for deployment of Earth remote sensing space systems in low-inclination circular orbits using a chemical upper stage to transfer the spacecraft from a reference orbit to an intermediate elliptical orbit and

further transfer the spacecraft to an operational trajectory using the electric propulsion system (EPS) of the spacecraft itself. The goal is to determine the optimal parameters of the intermediate orbit formed by the upper stage under a constraint on the total transfer time. The maximized final mass of the spacecraft is considered as the optimality criterion.

**Keywords:** earth remote sensing, electric propulsion system, three-impulse transfer, orbital constellation, optimization.

Группировки космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования экваториальных областей Земли, развертываемые на орбитах малого наклона, отличаются высокой периодичностью покрытия, что вызывает большой практический интерес. Однако в силу относительно северного расположения отечественных космодромов, требуются существенные энергетические затраты средств выведения для доставки полезных грузов на подобные орбиты.

В докладе рассматривается задача проектирования комбинированных схем выведения рассматриваемого класса полезных грузов. Программа полета следующая:

- выведение блока КА вместе с разгонным блоком на опорную круговую орбиту;
- перевод блока КА с помощью химического разгонного блока на промежуточную эллиптическую орбиту с помощью оптимального трехимпульсного перелета [1];
- перевод отдельных КА с помощью собственных ЭРДУ на рабочие орбиты.

Иначе говоря, задача проектирования схемы выведения сводится к решению задачи максимизации конечной массы КА на заданной рабочей орбите при ограничении на суммарное время перехода в пространстве выбираемых параметров схемы: параметров промежуточной орбиты, формируемой РБ.

Для оптимизации траекторий межорбитального перехода КА, оснащенных ЭРДУ необходимо решить задачу быстродействия в рамках формализма принципа максимума Понтрягина. В этом случае задача нахождения оптимального управления сводится к численному решению краевой задачи. При этом для получения невязок на правом конце траекторий межорбитального перехода внутри процедуры решения краевой задачи необходимо решить задачу Коши.

В первом приближении для оптимизации траекторий межорбитального перехода КА, оснащенных ЭРДУ, предлагается использовать аппроксимацию решений, полученных в рамках работы

[2]. Авторы данной работы получили универсальную таблицу безразмерных характеристических скоростей, которая может быть использована для оценки энергетических затрат ЭРДУ при оптимальных переходах между эллиптическими и круговыми орбитами. Для оптимизации конечной массы используется программное обеспечение SolvOpt [3].

Полученные результаты доказывают целесообразность использования предложенного подхода, для проектирования схем выведения КА ДЗЗ на орбиты малого наклона.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00329, <https://rscf.ru/project/22-19-00329/>.

### **Литература**

1. М.С. Константинов, Е.Ф. Каменков, Б.П. Перельгин, В.К. Безвербый; Под. ред. В.П. Мишина. Механика космического полета: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 408 с.
2. M.S. Konstantinov V.G. Petukhov Easy engineering technique of optimal electric propulsion trajectory estimation // 57<sup>th</sup> International Astronautical Congress (IAF) 02.10.2006 – 06.10.2006. DOI: 10.2514/6.IAC-06-C4.4.06
3. A.V. Kuntsevich, Franz Kappel The solver for local nonlinear optimization problems // Institute for Mathematics Karl-Franzens University of Graz June, 1997, 63 p.

УДК 629.785

eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Гордиенко Е.С.**

**Gordienko E.S.**

кандидат технических наук

математик 1 категории

**Овчарова А.С.**

**Ovcharova A.S.**

математик 2 категории

**Михайлов А.Е.**

**Mikhailov A.E.**

ведущий математик

АО «НПО Лавочкина», г. Химки

## АНАЛИЗ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРБИТУ ВОКРУГ ЛУНЫ ЧЕРЕЗ ТОЧКУ ЛИБРАЦИИ $L_2$ СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ

### THE ANALYSIS OF A LOW-ENERGY SCHEME TO LAUNCH A SPACECRAFT INTO ORBIT AROUND THE MOON THROUGH THE $L_2$ LIBRATION POINT OF THE SUN-EARTH SYSTEM

**Аннотация.** Рассматривается выведение космического аппарата на низкую круговую полярную орбиту искусственного спутника Луны высотой 100 км, которую можно использовать для посадки на поверхность Луны. Проводится анализ низкоэнергетических схем выведения, использующих траектории выведения на орбиту вокруг Луны через окрестность точки либрации  $L_2$  системы Солнце-Земля. Исследуются два основных варианта, в случае первого для схода спутника с орбиты вокруг точки либрации сообщается импульс скорости, в случае второго – необходимость сообщения импульса схода с орбиты вокруг точки либрации отсутствует. Численные и графические результаты работы приводятся для 2023 и 2030 годов.

**Ключевые слова:** космический аппарат, лунные траектории, точка либрации  $L_2$  системы Солнце-Земля, полярная орбита, спутник Луны.

**Abstract.** The launch of a spacecraft into a low circular polar orbit of an artificial satellite of the Moon with a height of 100 km, which can be used for landing on the surface of the Moon, is being considered. The analysis of low-energy launch schemes using launch trajectories into orbit around the Moon through the vicinity of the  $L_2$  libration point of the Sun-Earth system is carried out. Two main options are being investigated, in case of the first one, a velocity impulse is reported for the satellite to descend from orbit around the libration point, in case of the second one, there is no need to report velocity impulse to descent from orbit around the libration point. Numerical and graphical results of the work are given for 2023 and 2030 years.

**Keywords:** spacecraft, lunar trajectories,  $L_2$  libration point of the Sun-Earth system, polar orbit, Moon satellite.

В последние десятилетия интерес к освоению Луны возрос многократно. В последние годы было реализовано множество миссий, которые были связаны или с полетом на Луну, или с ее облетом для дальнейшего разгона к другим местам Солнечной системы. Анализ уже реализованных и планируемых миссий полета к Луне показал [1], что, зачастую, большинство из них использовали простые схемы

прямого перелета Земля-Луна, полет по которым длился от 3 до 6 суток. Краткая длительность перелета КА с Земли на Луну была обусловлена как конструктивными особенностями (например, малым временем жизни химических батарей спутника, как было на первых советских «лунниках» [2]), так и стремлением конструкторов облегчить пребывание человека в космосе (корабли серии «Аполлон»). Когда ограничение на время выведения КА с Земли на Луну отсутствует, можно рассмотреть траектории перелета Земля-Луна с большей длительностью выведения, ряд которых позволяют получить дополнительный выигрыш по величине тормозного импульса при переходе на орбиту искусственного спутника Луны (ИСЛ).

Первой миссией, использовавшей низкоэнергетическую траекторию «обходного» перелета к Луне [1, 3], при котором часть полета КА проходила в окрестности точки либрации  $L_2$  системы Солнце-Земля (далее будем использовать обозначение  $L_{2(S-E)}$ ), стала миссия GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory) [1].

Данная работа посвящена анализу схем выведения КА с Земли на Луну с использованием траекторий, проходящих в окрестности точки либрации системы Солнце-Земля и переводящих КА на конечную круговую ( $e_f=0$ ) полярную ( $i_f=90^\circ$ ) орбиту ИСЛ высотой  $h_{\pi f}=100$  км. Схемы выведения сравниваются в соответствии с критерием минимизации суммарной характеристической скорости.

Анализ проводится в три этапа. На первом этапе рассматривается выведение КА с Земли на Луну, при котором сообщается импульс схода с орбиты в окрестности точки либрации  $L_{2(S-E)}$ . На втором – исследуются траектории, которым для схода с орбиты в окрестности точки либрации  $L_{2(S-E)}$  импульс не требуется. На третьем этапе оценивается суммарная характеристическая скорость, необходимая на реализацию рассматриваемых траекторий выведения при учете ошибок навигации и сообщения импульсов.

Все импульсы при реализации траектории выведения, за исключением тормозного, выдаются с помощью двигателя с характеристиками: тяга  $P=198.84$  Н, скорость истечения газов из сопла  $W_e=2810.6$  м/с, импульс последействия  $J_{\text{пд}}=1.879$  Н\*с, а тормозной импульс сообщается двигательной установкой с характеристиками: тяга  $P=4315.84$  Н, скорость истечения газов из сопла  $W_e=3128.3$  м/с, импульс последействия  $J_{\text{пд}}=1961$  Н\*с.

При выведении КА на конечную орбиту ИСЛ его траекторию полета можно разбить на два участка, которые делятся границей сферы действия Луны (СДЛ), находящейся на расстоянии ~60 тысяч км от центра Луны. Первый, геоцентрический, участок полета с опорной

орбиты ИСЗ через окрестность точки либрации системы Солнце-Земля до границы СДЛ (когда расстояние от КА до центра Луны  $r$  больше радиуса СДЛ,  $r > R_{\text{СДЛ}} \approx 60$  тыс. км) моделируется при учете воздействия на КА возмущений от гравитационных полей Земли с разложением потенциала гравитационного поля Земли в ряд по сферическим функциям до 8 порядка и 8 степени включительно, центральных полей Луны, планет Солнечной системы (Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна) и малой планеты Плутон [4], а также давления солнечного света. Дальнейшее, селеноцентрическое, движение КА (внутри границы СДЛ) моделируется в рамках задачи четырех тел (КА, Луна при учете ее нецентральной с разложением селенопотенциала в ряд по сферическим функциям до 8 порядка и 8 степени включительно [5], Земля и Солнце, как материальные точки).

В рамках выполнения первого и второго этапов были разработаны соответствующие методики получения траекторий выведения КА с Земли на Луну с использованием и без использования импульса схода КА с орбиты вокруг точки либрации  $L_{2(S-E)}$ . Для обеих методик были проведены графический и численный анализ. В рамках данного анализа рассматривались варианты использования северных и южных квазипериодических орбит (КПО) для выведения КА на круговую полярную орбиту ИСЛ высотой 100 км. Для первого варианта схемы в случае отлета от Земли 12 января 2030 года величины тормозного импульса и суммарной характеристической скорости для северной КПО составят 704 м/с и 721 м/с, а для южной КПО 738 м/с и 763 м/с. Для второго варианта схемы величины тормозного импульса и суммарной характеристической скорости для северной КПО составят 732 м/с и 778 м/с, а для южной КПО 709 м/с и 749 м/с. Результаты анализа двух данных методик показали, что вариант выведения с использованием импульса схода с КПО дал лучшие результаты по величинам тормозного импульса при переходе на конечную орбиту ИСЛ и суммарной характеристической скорости.

На третьем этапе была рассмотрена возможность реализации данных траекторий на практике. В качестве номинальной была взята траектория для первого варианта выведения. Был проведен массовый расчет, состоящий из 2000 случайных реализаций. Напомним, что импульс коррекции на перелете Земля – точка либрации  $L_{2(S-E)}$  был назначен через 6 дней после отлета КА от Земли, а импульс коррекции траектории перелета точка либрации  $L_{2(S-E)}$  – Луна – за 7 суток до пролета периселения  $\pi$ . Расчет траекторий проводился при учете ошибок навигации и сообщения импульсов. Было показано, что при реализации миссии полета КА на Луну с использованием КПО



суммарная характеристическая скорость возрастает с вероятностью 99.7% не превысит 788.67 м/с. Ранее было показано, что суммарная характеристическая скорость на реализацию траектории простого прямого перелета Земля-Луна составляет величину от ~ 840 м/с до ~ 885 м/с [6]. Таким образом, даже с учетом того, что из-за ошибок навигации и исполнения импульсов суммарная характеристическая скорость на реализацию траектории выведения КА с Земли на Луну через точку либрации  $L_{2(S-E)}$  возрастет, тем не менее, ее затраты будут на ~55-100 м/с меньше аналогичных для простого прямого перелета [6]. Конечная масса КА  $m_f$  равна ~1602.4 кг. Выигрыш по конечной массе КА в сравнении со схемой простого прямого перелета составит от ~33 кг до ~67 кг.

### Литература

1. Parker J.S., Anderson R.L. Low-energy lunar trajectory design // Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. July 2013. 382 P.
2. Ефанов В.В., Долгополов В.П. Луна. От исследования к освоению (к 50-летию космических аппаратов «Луна-9» и «Луна-10») // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4. С. 3 – 8.
3. Ивашкин В.В., Петухов В.Г. Траектории перелета с малой тягой между орбитами спутников Земли и Луны при использовании орбиты захвата Луной // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2008. № 81. 32 с.
4. Folkner W.M., Williams J.G., Boggs D.H. The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421. 2009. JPL IOM 343R-08-003.
5. Гордиенко Е.С., Ивашкин В.В., Симонов А.В. Анализ устойчивости орбит искусственных спутников Луны и выбор конфигурации лунной навигационной спутниковой системы // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. №4. С. 40 – 54.
6. Гордиенко Е.С., Худорожков П.А. К вопросу выбора рациональной траектории полета к Луне // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. №1. С. 15 – 25.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Кирилюк Е.В.**

**Kiriliuk E.V.**

кандидат технических наук

старший научный сотрудник

НИЦ ЦНИИ ВКС Минобороны России, г. Королев

доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

**Королева А.В.**

**Koroleva A.V.**

специалист

АО «ЦНИИмаш», г. Королев

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕЛЁТОВ ОРБИТАЛЬНЫХ БЛОКОВ  
НА ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ОРБИТЫ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО  
ДОВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ЦЕЛЕВЫЕ  
ОРБИТЫ**

**OPTIMIZATION OF ORBITAL BLOCK FLIGHTS TO  
TRANSITION ORBITS FOR SUBSEQUENT ORBIT RAISING OF  
SPACECRAFT TO TARGET ORBITS**

**Аннотация.** Осуществлена формализация задачи оптимизации некомпланарного межорбитального перелета орбитального блока (ОБ) на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина при условии минимизации потребного импульса скорости довыведения космического аппарата (КА) с помощью собственной двигательной установки. Сформированы краевые задачи принципа максимума для случаев наличия и отсутствия ограничений, накладываемых на переходные орбиты. Решены поставленные задачи оптимизации и проанализированы полученные результаты.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, косвенная оптимизация, орбитальные маневры, геопереходная орбита, геостационарная орбита.

**Abstract.** The formalization of the optimization problem of noncoplanar interorbital flight of an orbital block (OB) based on the maximum principle of L.S. Pontryagin under the condition of minimization of the required velocity impulse of the orbit raising of spacecraft (SC) using its own propulsion system is carried out. Boundary value problems of the maximum principle for the cases of presence and absence of constraints imposed on transition orbits are formed. The defined optimization problems are solved and the obtained results are analyzed.

**Keywords:** optimal control, indirect optimization, orbital maneuvers, geostationary transfer orbit, geostationary orbit.

Оптимизация схем межорбитальной транспортировки КА неизменно остается одной из важных задач космонавтики в силу ограниченности энергетических возможностей средств выведения. Для работы многих космических систем различного целевого

назначения необходимо размещение КА длительной эксплуатации на высоких орбитах, доставка полезной нагрузки на которые требует значительных энергетических затрат средств выведения.

В работе была рассмотрена задача оптимизации межорбитального перелета ОБ, состоящего из связки КА и разгонного блока (РБ), в случае, когда энергетических возможностей РБ недостаточно для доставки КА на целевую орбиту и требуется его последующее довыведение с помощью собственной двигательной установки. Критерием оптимальности в данной задаче выступает минимум характеристической скорости довыведения КА с орбиты, формируемой РБ (переходной орбиты), на заданную целевую орбиту.

Для определения оптимального управления ОБ в процессе межорбитального перелета применяется принцип максимума Л.С. Понтрягина [1], [2] позволяющий свести задачу оптимального управления к краевой задаче.

В рамках исследования была рассмотрена задача оптимизации параметров схемы перелета, предполагающей довыведение КА на геостационарную орбиту (ГСО) с использованием собственной двигательной установки КА. При этом на формируемую РБ геопереходную орбиту (ГПО) накладывался ряд ограничений, позволяющий аналитически рассчитать потребный импульс скорости перехода КА на ГСО, выступающий критерием качества в данной постановке [3]:

$$J = \Delta V_{aT}^2 = V_{aT}^2 \sin^2 i_T + (V_{ГСО} - V_{aT} \cos i_T)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где

$T$  – длительность межорбитального маневра ОБ;

$\Delta V_{aT}$  – потребный импульс скорости, прикладываемый в апогее конечной орбиты для перехода на ГСО;

$V_{aT}$  – скорость КА в апогее сформированной ГПО;

$V_{ГСО}$  – скорость КА на ГСО;

$i_T$  – наклонение сформированной ГПО.

Данная постановка задачи была рассмотрена в монографии [3], однако в представленном исследовании использовался иной подход к формированию краевой задачи принципа максимума: получено следствие из условий трансверсальности (2), включенное в вектор граничных условий на правом конце траектории.

$$p_{p,e,i_T} = p_{p_T} p_T - p_{e_T} (1 - e_T) + p_{i_T} \frac{V_{ГСО} \cos i_T - V_{aT}}{2V_{ГСО} \sin i_T} = 0, \quad (2)$$

где

$p_{p_T}$  – сопряженная фокальному параметру переменная в конечный момент времени;

$p_T, e_T$  – фокальный параметр и эксцентриситет конечной орбиты;  
 $p_{eT}$  – сопряженная эксцентриситету переменная в конечный момент времени;

$p_{iT}$  – сопряженная наклонению переменная в конечный момент времени.

Проведено решение серии краевых задач принципа максимума для различных значений массы КА, проанализировано изменение параметров формируемой РБ орбиты.

В развитие рассмотренной постановки задачи в работе предлагается подход к оптимизации траектории перелета РБ для случая, когда требуется дальнейшее довыведение одного или нескольких КА на орбиты более общего вида (произвольные). В качестве функционала предлагается рассматривать суммарный потребный импульс скорости для довыведения КА на целевую орбиту  $\Delta V_T$  (3) [4] – в случае одного КА, или же сумму соответствующих потребных импульсов скорости (4), в случае двух КА, имеющих равные приоритеты с точки зрения решения задачи доставки на целевую орбиту.

$$J = \Delta V_T = f(p_1; e_1; i_1; \Omega_1; \omega_1, u_1, u_2, p) \rightarrow \min \quad (3)$$

$$J_1 = \Delta V_{T1} + \Delta V_{T2} \rightarrow \min \quad (4)$$

где

$p_1, e_1, i_1, \Omega_1, \omega_1$  – фокальный параметр, эксцентриситет, наклонение, долгота восходящего узла и аргумент перицентра сформированной РБ переходной орбиты;

$u_1, u_2$  – аргументы широты приложения первого и второго импульсов довыведения КА;

$p$  – фокальный параметр промежуточной орбиты, сформированной первым импульсом довыведения КА;

$\Delta V_{T1}, \Delta V_{T2}$  – суммарные потребные импульсы скорости для довыведения первого и второго КА на соответствующие целевые орбиты.

Исследование возможности оптимизации межорбитального перелета ОБ с критерием качества (4) может быть актуально при рассмотрении задачи тандемных запусков КА.

### Литература

1. Понтрагин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969.
2. К.Г. Григорьев, И.С. Григорьев, М.П. Заплетин, Практикум по численным методам в задачах оптимального управления. Дополнение

1. - М.: Издательство Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2007. - 184 с.
3. Григорьев И.С., Данилина И.А. Оптимизация межорбитальных пространственных траекторий перелетов космического аппарата с разгонным блоком. Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, Баку, 2020. 196 с.
4. Власов С.А., Мамон П.А. Теория полета космических аппаратов. СПб: Издательство ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. 435 с.

УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 55.49.05

**Боровин Г.К.**

**Borovin G.K.**

доктор физико-математических наук  
заведующий отделом  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

**Ивашкин В.В.**

**Ivashkin V.V.**

доктор физико-математических наук  
главный научный сотрудник  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва  
НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва

**Сидоренко В.В.**

**Sidorenko V.V.**

доктор физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

**К 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ЭНЕЕВА Т.М. – ОДНОГО  
ИЗ ОСНОВОПОЛОЖНИКОВ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ  
И ПРАКТИКИ МЕХАНИКИ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА**

**TO THE 100<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN ENEEV T.M. –  
ONE OF THE FOUNDERS OF MODERN THEORY AND  
PRACTICE OF SPACE FLIGHT MECHANICS**

**Аннотация.** В статье отмечены научные заслуги Тимура Магомедовича Энеева – одного из основателей современной механики космического полета. Его труды внесли значительный вклад в достижения космонавтики: в запуск первого спутника Земли, полет

Ю.А. Гагарина, в осуществление первых полетов к планетам Солнечной системы, в исследование малых тел Солнечной системы и т.д. Отмечено, что Т.М. Энеев также большой гражданин нашего Отечества, который откликнулся на проблемы становления не только космонавтики, но и космогонии, биологии и других проблем, волнующих современное общество.

**Ключевые слова:** динамика полета ракет, управление движением ракет и космических аппаратов, планеты Солнечной системы, космогония, биология, динамика сложных дискретных систем.

**Abstract.** The article notes the scientific merits of Timur Magometovich Eneev, one of the founders of modern space flight dynamics. His works made a significant contribution to the achievements of astronautics: to the launch of the first Earth satellite, to the flight of Yu.A. Gagarin, in the implementation of the first flights to the planets of the Solar System, in the study of small bodies of the Solar System, etc. It was noted that T.M. Eneev is also a great citizen of our Fatherland, who responded to the problems of the formation of not only astronautics, but also cosmogony, biology and other issues of concern to modern society.

**Keywords:** dynamics of rocket flight, control of the motion of rockets and spacecraft, planets of the solar system, cosmogony, biology, dynamics of complex discrete systems.



Рис.1. Тимур Магометович Энеев  
(23.09.1924-08.09.2019)

Тимур Магометович Энеев родился 23 сентября 1924 г. в городе Грозный. В 1943 году он поступил на механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Во время учебы принимал

активное участие в семинаре А.А. Космодемьянского «Динамика тел с переменной массой». На этом семинаре изучалась механика космического полета, и многие студенты, участвовавшие в работе семинара в 50-х годах прошлого века на механико-математическом факультете в МГУ, пошли затем «служить» космосу, о котором так интересно и страстно рассказывалось на лекциях и на этом семинаре в МГУ.

Научной работой в области космонавтики и динамики ракет Тимур Магометович начал заниматься еще во время учебы в МГУ. В 1948 году он заканчивает МГУ и поступает в аспирантуру НИИ Механики МГУ.

С 1950 года Энеев Т.М. начинает работать младшим научным сотрудником в отделе механики Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР (МИАН), заведующим которого в то время был Мстислав Всеволодович Келдыш. Отдел механики МИАН позже вошел в Отделение прикладной математики МИАН СССР (ОПМ МИАН), созданное в 1953 году по распоряжению Совета Министров СССР, и первым директором его был академик М.В. Келдыш (ныне Институт прикладной математики (ИПМ) им. М.В. Келдыша РАН). На протяжении всей своей жизни деятельность Тимура Магометовича была связана с отделом № 5 ИПМ, которым руководил Д.Е. Охоцимский и в котором, в сотрудничестве с ОКБ-1 С.П. Королева и некоторыми другими организациями, рассчитывались траектории первых полетов искусственных спутников Земли (ИСЗ), полетов к Луне и к планетам Солнечной системы. При этом Т.М. Энеев внес выдающийся вклад в разработку основ теоретической и прикладной космонавтики. Основные направления научной деятельности Т.М. Энеева – динамика полета и управление движением ракет и космических аппаратов (КА), а также - моделирование динамики сложных дискретных систем в задачах космологии и биологии.

Еще в 1940-х годах в МИАН СССР под руководством М.В. Келдыша начались баллистические исследования полетов управляемых жидкостных ракет и определения наилучших режимов управления их полетом. Важную роль в развитии отечественной ракетодинамики сыграли выполненные в 1950-х гг. Т.М. Энеевым, Д.Е. Охоцимским, А.К. Платоновым с коллегами исследования оптимальных режимов управления ракетами. В 1951 году Т.М. Энеев рассмотрел и решил задачу выбора оптимального программного управления ориентацией оси составной ракеты, в частности – для выведения ИСЗ на околоземную орбиту. Некоторая часть полученных

результатов была опубликована в сентябре 1957 г., накануне запуска первого искусственного спутника Земли [1], другие, важные работы остались в отчетах ОПМ МИАН СССР или были опубликованы в томе избранных трудов М.В. Келдыша [2, 3].

С запуском спутника другой важнейшей проблемой, которую поставила перед учеными практика космонавтики, и на которую обратил внимание ученых М.В. Келдыш, стала разработка методики обработки оптических наблюдений спутника с целью определения его орбиты на ЭВМ «Стрела», полученной тогда ОПМ МИАН СССР. История этой первой в нашей стране машинной обработки траекторных наблюдений описана в работах [4-7]. Опыт этой обработки и опыт работы ОПМ МИАН СССР в области баллистических ракет и ИСЗ легли в основу методик, используемых в отечественных баллистических центрах для получения орбит КА по результатам внешнетраекторных измерений. В этом тоже есть большой научный вклад Тимура Магомедовича, как и ряда других ученых (Эльясберг П.Е., Аким Э.Л. и др.).

Следующее достижение Тимура Магомедовича связано с разработкой высокоточного метода расчета «времени жизни» низкого околоземного спутника. Применение обычного численного метода учета возмущений от атмосферы Земли давало быструю потерю точности расчета параметров движения спутника и не позволяло определить с хорошей точностью его «время жизни». Разработанный Т.М. Энеевым с Д.Е. Охочимским и Г.П. Таратыновой двухцикленный метод интегрирования возмущенной системы дифференциальных уравнений движения спутника в атмосфере позволил получить «время жизни» спутника с хорошей точностью [8-9].

С запуском первого спутника связано еще одно достижение Т.М. Энеева. В 1954 г., за три года до запуска первого спутника и за 7 лет до полета Ю.А. Гагарина, Т.М. Энеев неожиданно для многих решил разобраться, можно ли спустить с орбиты искусственного спутника Земли человека живым – не сгорит ли он, и не раздавит ли его перегрузка при торможении в атмосфере и с какой точностью можно определить точку посадки КА. Для решения этих задач надо было прежде всего построить модель движения спускаемого аппарата (СА) в атмосфере Земли. Подобные расчеты применительно к крылатым ракетам [10] Тимур Магомедович ранее выполнял в своей кандидатской диссертации. Сложнее было принять решение о характере спуска – баллистический или крылатый. Тимур Магомедович взялся за сложную задачу – задачу оценки возможности использования баллистического спуска, как технически более простого



в реализации. Также трудной была проблема выбора формы СА. Было решено, по инициативе К.П. Феоктистова, считать СА самой простой – сферической формы. Была разработана методика расчетов аэродинамических сил и температуры и перегрузок в КА. В результате анализа был получен важный результат: человека спустить с орбиты спутника баллистическим спуском можно, если правильно подобрать угол входа в атмосферу.

После запуска первого ИСЗ начались работы по созданию орбитального КА для полета человека. Был решен большой комплекс задач, связанных с выводением орбитального обитаемого аппарата, безопасным пребыванием его на орбите, динамикой движения относительно его центра масс и другие задачи. Т.М. Энеевым с коллегами была разработана методика оценки рассеивания точек приземления СА на местности. С помощью этой методики был проведен анализ точности приземления СА в заданном районе. Был выполнен также целый ряд других исследований по динамике и управлению полетом КА с человеком на борту, которые явились важной частью комплекса работ, обеспечивших первый космический полет человека вокруг Земли. Так, были выполнены исследования по выбору оптимальных условий схода с орбиты, обеспечивавших использование простых и надежных солнечных датчиков ориентации КА и т.д.

Важным, зачастую определяющим стал также вклад Т.М. Энеева в проектирование, теорию и практику полетов КА от Земли к планетам Солнечной системы. При этом встал ряд новых, сложных задач. Выделим из них две.

Во-первых, сложной оказалась задача наглядного представления небесно-механических, баллистических результатов анализа траекторий. При этом важной проблемой проектирования орбит была проблема «окон старта» КА. Тимур Магометович разработал численную методику массовых решений на ЭВМ так называемой задачи Эйлера-Ламберта и ручного построения изолиний энергетических затрат на плоскости: время старта с Земли – время прилета к внешнему телу. Результаты этой работы дали разработчикам космических станций нарисованный тушью на кальке набор почти эквидистантных кривых. Их центральная точка давала заветную траекторию с наилучшим весом станции, а диапазон предельно допустимых энергетических затрат определял диапазон дат старта и соответствующий разброс сроков прилета к планете. С чьей-то легкой руки эти графики получили название «ракушки». Эти «ракушки» оказались очень удобным способом описания свойств планируемых

траекторий самого разного типа (облетные, пролетные, попадающие на первом или на втором полувитках орбиты и т.п.). С развитием средств машинной графики «ракушки» стали строиться автоматически.

Во-вторых, при проектировании полетов к Луне, Марсу и Венере выявились противоречия между условиями энергетической оптимальности межпланетной орбиты перелета и условиями непрерывного активного участка. В начале космической эры выведение КА на траектории полета к Луне и планетам осуществлялось с помощью непрерывного активного участка от точки старта ракеты-носителя с космодрома на территории СССР до точки начала пассивного полета к внешнему небесному телу, включая участок разгона на гиперболу отлета от Земли. Т.М. Энеев предложил использовать для разгона межпланетных космических аппаратов разрывные активные участки с паузой в работе двигателей, во время которой ракета-носитель с космическим аппаратом движется по промежуточной орбите ИСЗ до оптимальной точки включения разгонного двигателя. При этом пауза в работе двигателей должна подбираться так, чтобы повторное включение двигателей и вместе с ним окончательный разгон космического аппарата происходили в оптимальной точке, на низких широтах Земли, в соответствии с положением Луны и планет на их орбитах. «Ракушки» показали, что получить в ближайшие годы приемлемые веса полезных грузов проектируемых полетов к Венере и Марсу не удастся при старой схеме разгона с помощью непрерывного активного участка. Следует признать, что предложенный Тимуром Магомедовичем выход требовал свойственной ему решительности. Надо было отказаться от трехступенчатой схемы ракеты и предложить сделать еще одну новую – четвертую ступень ракеты. Ведь запуск этой последней ступени должен был произойти в южной части Атлантического океана почти через час после выключения третьей ступени с новым значением стартового угла тангажа. Расчеты показали полную баллистическую пригодность предложенной схемы выведения. Использование такого способа разгона, получившего в свое время название “Звездочка”, существенно облегчило решение ряда баллистических проблем лунных и межпланетных перелетов, расширив оптимальные интервалы возможных дат старта, улучшив условия слежения за КА. Разгон КА с промежуточным выведением на незамкнутую орбиту ИСЗ стал впоследствии применяться для разгона КА различного назначения.

Под руководством Т.М. Энеева была разработана также схема операций управления лунным и межпланетным полетом КА, которая обеспечивала достижение высокой точности управления полетом КА и

минимальных весовых затрат на это управление. При проектировании полетов к Марсу, Венере и Луне задача состояла в разработке принципов точного наведения КА на планету-цель. Из-за ошибок в кинематических параметрах в конце участка выведения ракеты-носителя к планете промах вблизи планеты-цели мог на первых полетах достигать сотен и даже тысяч километров. В связи с этим было необходимо активно управлять полетом КА на всей траектории от Земли до планеты-цели. Схема управления полетом КА содержала две главные операции, выполняемые последовательно в ходе полета несколько раз, а именно – а) определение траектории полета обработкой траекторных измерений (в решении этой проблемы большой вклад внес коллектив ИПМ под руководством Э.Л. Акима и группа НИИ-4, руководимая Эльясбергом П.Е.) и б) определение корректирующих импульсов, исправляющих нужным образом траекторию, с исполнением их бортовой двигательной установкой (в решении данной проблемы большой вклад внес коллектив ИПМ под руководством А.К. Платонова). Реализация этой схемы вызвала серьезные трудности, связанные с определением траектории полета КА по измерениям, о чем мы сказали выше. В практике космических полетов траекторные измерения были представлены радиоизмерениями наклонной дальности и радиальной скорости. При движении КА вблизи Земли и вблизи существующих нескольких наземных измерительных пунктов имеется возможность с их помощью получать хорошую пространственную завязку траектории. Но на большом удалении от Земли, порядка десятков и сотен миллионов километров, трудно одновременно определять все три координаты КА. Т.М. Энеев с коллегами предложили завязать траекторию, привлекая знание закона движения КА относительно земных пунктов наблюдения путем обработки наклонной дальности и/или радиальной скорости, измеренных на достаточно длительном промежутке времени хотя бы с одного измерительного пункта. Оказалось, что при достаточно точных и длительных измерениях можно с высокой точностью определять траекторию движения КА при любых его удалениях от Земли. Режим измерений при полете к дальним планетам солнечной системы стал формироваться из двух основных этапов – режима измерений на приземном участке полета с высоким темпом измерений с нескольких пунктов, и режима межпланетного участка с медленным темпом измерений, за длительные временные интервалы.

Т.М. Энеев с коллегами разработал также теорию автономной навигации, первоначально для управления пилотируемым КА на орбите спутника Луны и на орбите облета Луны [11-13]. Важным

применением такой системы навигации должен был стать пилотируемый облет Луны с возвратом к Земле и управляемым спуском в атмосфере. Автоматические КА Зонды-5-6 (проект Л1) облетели Луну и вернулись к Земле со 2-ой космической скоростью. Система автономной навигации «Альфа» с использованием автономных оптических измерений с помощью секстанта и отечественной Бортовой Цифровой Вычислительной Машины (БЦВМ) Салют-1 должна была выполнить бортовые измерения, определение орбиты, расчет коррекций и корректный вход в атмосферу Земли, посадку.

Важен вклад Т.М. Энеева в космогонию, биологию. В 1970-х годах Т.М. Энеев совместно с Н.Н. Козловым предложил модель формирования Солнечной системы. Была исследована эволюция протопланетных систем и модель процесса аккумуляции применительно к объяснению образования планет Солнечной системы [14-20].

На основании полученных результатов моделирования Т.М. Энеев делает вывод о важности получения образцов вещества из нескольких различных поясов Солнечной системы, что могло бы дать новую информацию для представлений о веществе Земли. Важно, чтобы образцы относились к «реликтовому» веществу, сохранившему минеральный, химический и изотопный состав со времен формирования Солнечной системы и, по возможности, в неизменном виде. Образцы реликтового вещества из определенных поясов Солнечной системы могут содержать малые тела - астероиды Главного пояса, кометы и спутники планет, например, спутник Марса Фобос [18].

Важным наследием Т.М. Энеева является то, что Т.М. Энеев с коллегами разработал методы расчетов траекторий межпланетных полетов КА с малой тягой. В начале 1960-х гг. Т.М. Энеев предложил метод «транспортирующей траектории» для расчетов межпланетных космических полетов с двигателями малой тяги. С начала 1980-х гг., когда возможность полетов с двигателями малой тяги приобрела реальные черты, Т.М. Энеев возглавил исследования траекторий полетов КА с малой тягой, имея в виду реально существующие технические средства, в плане двигателей и энергетических установок, солнечных батарей или ядерных космических установок. При этом на основе разработанной им концепции о приоритетах в целях исследований, изучались, в первую очередь, траектории полетов к малым телам Солнечной системы, астероидам Главного пояса, кометам и спутнику Марса Фобосу. Рассмотрены были полеты к малым

телам с выравниванием скоростей КА и цели для возможности посадки на нее и забора образцов грунта.

В 1970-е годы в связи с исследованиями по моделированию формирования Солнечной системы Т.М. Энеевым (совместно с Н.Н. Козловым) был разработан новый метод моделирования динамики больших дискретных систем. Метод был применен к задаче эволюции галактик, а также к анализу процессов структурообразования больших биологических молекул и генетического кода [21-24].

### **Заключение**

Вклад Т.М. Энеева в теоретическую и прикладную космонавтику отмечен Ленинской премией (1957 г.), которую он получил с группой ученых страны, обеспечивших выдающиеся успехи отечественной космонавтики [25]. Он удостоен золотой медали РАН имени Ф.А. Цандера за цикл работ по теории движения и управления полетом ракет и КА, Демидовской премии (2006 г.), Золотой медали РАН имени М.В. Келдыша (2011 г.). Международный Астрономический Союз назвал его именем одну из малых планет Солнечной системы - 5711 Енеев. Он награжден орденами: Ленина (1961 г.), Октябрьской Революции (1984 г.), Трудового Красного Знамени (1956, 1975 гг.) и орденом Почета (2005 г.).

Новые математические методы, предложенные Т.М. Энеевым для решения задач исследования космоса, составляют золотой фонд отечественной астродинамики. Они развиваются и применяются для осуществления дальнейших российских научных проектов.

### **Литература**

1. Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М. Некоторые вариационные задачи, связанные с запуском искусственного спутника Земли // Успехи физических наук. 1957. Т. 63. Вып. 1а. С. 5–32.
2. Келдыш М.В. Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. см также: Прикладная механика и управление движением: сб. статей, / М.: ИПМ им. М.В. Келдыша. 2010. – 368 с. <http://keldysh.ru/memory/okhotsimsky>
3. Охоцимский Д.Е. К теории движения ракет // Прикладная математика и механика. 1946. Т. 10. Вып. 2. С. 251–272.
4. Энеев Т.М., Платонов А.К., Казакова Р.К. Определение параметров орбиты искусственного спутника по данным наземных измерений // Сб. «Искусственные спутники Земли». 1960. Вып. 4. С. 43–55.

5. Платонов А.К., Казакова Р.К. Первая машинная обработка траекторных измерений спутника Земли // Вестник РАН. Т. 72. № 9. С. 816 – 836.
6. Аким Э.Л., Энеев Т.М. Определение параметров движения космического летательного аппарата по данным траекторных измерений // Косм. иссл. 1963. Т. 1. Вып. 4. С. 5 – 50.
7. Энеев Т.М. Некоторые вопросы применения метода наискорейшего спуска / Энеев Т.М. - М.: 1970 - № 17. - 57 с. - (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР).
8. Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М., Таратынова Г.П. Определение времени существования искусственного спутника Земли и исследование вековых возмущений его орбиты // Успехи физических наук. 1957. Т. 63. Вып. 1а. С. 33–50.
9. Таратынова Г.П. Методы численного решения уравнений в конечных разностях и их применение к расчетам орбит искусственных спутников Земли // Сб. «Искусственные спутники Земли». 1960. Вып. 4. С.
10. Егоров В.А., Камынин С.С., Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М. Теоретические исследования динамики полета составных крылатых ракет дальнего действия // М.В. Келдыш. Ракетная техника и космонавтика. – М.: 1988. – С. 147.
11. T. Eneev, V. Ivashkin, V. Sharov [et al.] Space autonomous navigation system of Soviet project for manned fly by Moon // Acta Astronautica. - 2010. - Vol. 66. - P. 341 - 347.
12. Ивашкин В.В. Лунные траектории космических аппаратов: пионерские работы в Институте прикладной математики и их развитие // Прикладная механика... – С. 73 - 106.
13. Аким Э.Л., Энеев Т.М. Движение искусственных спутников Земли. Межпланетные полеты // Прикладная механика... – С. 7-28. Аким Э.Л., Энеев Т.М.
14. Энеев Т.М., Козлов Н.Н. Модель аккумуляционного процесса формирования планетных систем. Численные эксперименты // Астрономический вестник. 1981. Т. 15, № 2. С. 80–94.
15. Энеев Т.М. О возможной структуре внешних (занептунных) областей Солнечной системы. Письма в Астрон. журнал. 1980, т.6, N.5,
16. Козлов Н.Н., Сюняев Р.А., Энеев Т.М. Приливное взаимодействие галактик // ДАН СССР. – 1972. Т. 204, № 3. – С. 579 – 582
17. Энеев Т.М., Козлов Н.Н. Вращение планет и связь с теорией гравитационной неустойчивости. Астрономический вестник. 1981, т.15, №3, с.131-141.

18. Ахметшин Р.З., Ефимов Г.Б., Энеев Т.М. Траектории экспедиций КА с двигателями малой тяги по доставке образцов грунта с астероидов Главного пояса и Фобоса /. - Москва Препринт Ин-т прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, №40, 2008. - 24 с.
19. Энеев Т.М. К вопросу об астероидной опасности / Т.М. Энеев, Р.З. Ахметшин, Г.Б. Ефимов // Космические исследования. - 2012. - Т. 50, № 2. - С. 99 - 108.
20. Ахметшин Р.З., Ефимов Г.Б., Энеев Т.М. Оптический барьер в схеме космического патруля. Вестник РФФИ. 2013. № 3 (79). С. 15-17.
21. Козлов Н.Н., Кугушев, Е.И., Энеев, Т.М. Компьютерный анализ процессов структурообразования нуклеиновых кислот. Математическое моделирование.- 2013, т.25, № 4, с.126-134
22. Энеев Т.М. О возможной структуре внешних (занептунных) областей солнечной системы // Письма в Астрономический журнал. 1980. Т. 6, № 5. С. 295–300.
23. Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М., Аким Э.Л., Сарычев В.А. Прикладная небесная механика и управление движением. Сборник статей, посвященный 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша. 2010. С. 328–367.
24. Энеев Т.М., Козлов Н.Н., Кугушев Е.И. Компьютерный анализ процессов структурообразования нуклеиновых кислот // Математическое моделирование. 2013. Т. 25, № 4. С. 126–134.
25. Бегиева-Кучемезова Р. Свет звезды и свечи. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2015. 192 с. URL: [http:// library.keldysh.ru/e-biblio/eneev/](http://library.keldysh.ru/e-biblio/eneev/).

УДК 629.783

eLIBRARY.RU: 89.29.65

**Кузьмин Е.К.**

**Kuzmin E.K.**

инженер-исследователь

АО «НПК «СПП», г. Москва

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЛИЧЕНИЯ ШКАЛ ВРЕМЕНИ СРЕДСТВАМИ БЕЗЗАПРОСНОЙ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

### ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF COMPARISON OF TIME SCALES BY MEANS OF SLR

**Аннотация.** Анализ случайных и систематических погрешностей времени регистрации оптического импульса фотоприемным устройством (ФПУ). Учет тропосферных задержек распространения лазерного импульса.

**Ключевые слова:** ошибки сличения шкал времени, модель тропосферной задержки, двухчастотные лазерные системы.

**Abstract.** Analysis of random and systematic errors in the time of registration of an optical pulse by a photodetector device (PD). Taking into account tropospheric delays in laser pulse propagation.

**Keywords:** time scale comparison errors, tropospheric delay model, dual-frequency laser systems (2F-SLR).

Беззапросная квантово-оптическая система (БКОС) обеспечивает сличение бортовых синхронизирующих устройств (БСУ) с центральными синхронизаторами (ЦС) ГЛОНАСС [1]. БКОС состоит из наземного (НБКОС) и бортового сегментов (ББКОС). Лазерная станция НБКОС излучает короткие импульсы в направлении на космический аппарат (КА) и регистрирует точное время старта импульса и время прихода ответного импульса относительно наземной шкалы времени. ББКОС регистрирует момент приема лазерного импульса в бортовой шкале времени, формируемой БСУ, и передает его по радиоканалу в наземный комплекс управления (НКУ), где определяется разность хода бортового и наземного эталонов.

Для оценки точности сличения шкал времени проанализированы возможные источники ошибок работы БКОС в части обеспечения точности регистрации импульсов.

Определено, что систематические погрешности измерения времени регистрации оптического импульса вызваны задержками импульса в трактах: приемном оптическом, фотоприемного устройства (ФПУ), специального вычислительного устройства (СВУ), задержкой сигнала синхронизации с БСУ.

При этом наблюдается дрейф указанных задержек за счет температуры и в течение времени за счет старения, в том числе под воздействием ионизирующего излучения.



Основные источники случайной составляющей погрешности в измерениях ББКос это собственная погрешность измерителя временных интервалов, суммарный джиттер тактирующих и задающих сигналов и погрешность, связанная с зависимостью момента переключения порогового устройства от амплитуды импульса на выходе фотоприемного устройства.

На основе ранее проведенных экспериментов в 2013-2016 гг. [2] определено, что в ББКос случайная составляющая ошибки регистрации приемного импульса может составлять менее 180 пс, а систематическая после калибровки – 50-100 пс. Точность расхождения шкал времени ББКос относительно шкалы времени ГЛОНАСС или шкал времени наземных пунктов менее 300 пс обеспечивалась калибровкой аппаратных задержек наземного модуля, лазерного дальномера и бортового модуля с последующим поддержанием калибровок в актуальном состоянии. Вместе с тем, среднеквадратическая погрешность зависит от интервала осреднения измерений. Было установлено, что при осреднении измерений на интервале 30 с среднеквадратическая погрешность сличений шкал времени может составлять 30-50 пс [3].

Кроме погрешностей, связанных с задержками наземного модуля, лазерного дальномера и бортового модуля, необходимо учитывать погрешности от атмосферной (тропосферной) рефракции, релятивистских эффектов (задержка Шапиро). В настоящее время в качестве стандарта модели тропосферной задержки принята модель зенитной задержки Мендеса-Павлиса [4,5]. Релятивистская поправка в измеренные дальности является следствием эффекта Шапиро (или гравитационного замедления времени), вызванного полем тяготения Земли и может быть вычислена достаточно точно.

Таким образом, основными направлениями при совершенствовании БКОС являются:

- точный учет тропосферных задержек распространения лазерного импульса;
- прецизионная калибровка задержек сигнала в ББКос и НБКос;
- совершенствование фотоприемных устройств.

Используемые в настоящее время модели тропосферной задержки требуют дополнительного использования метеорологических данных, полученных в момент проведения лазерных измерений. При этом стандартные модели построены на основании представления симметричной атмосферы над лазерной станцией, однако в реальности присутствует и горизонтальная рефракция. Решение проблемы достаточно точного учета общей тропосферной задержки может быть

получено при оснащении лазерных станций двумя лазерными дальномерами с разной частотой излучения (2F-SLR) [6] и дополнительным получением значений атмосферного давления с ближайшей метеорологической станции. Необходимым условием применения такой лазерной станции является возможность работы ФПУ в двухцветном режиме. Таким образом, предлагается рассмотреть вопрос создания двухчастотных лазеров и ФПУ, работающих в двухцветном режиме.

### Литература

1. Садовников М.А., Сумерин В.В., Шаргородский В.Д. «Односторонняя лазерная дальнометрия и ее применение в задачах повышения точности частотно-временного обеспечения ГЛОНАСС»//International Technical Workshop WPLTN-2012, Санкт Петербург, Россия, 2012.
2. Пояснительная записка «Модернизованная бортовая беззапросная квантово-оптическая система. Принципы построения и основные характеристики». СЧ ОКР «ГЛОНАСС-КК-В-Независимость». Дополнение к эскизному проекту, АО «НПК «СПП», 2016.
3. Жабин А.С. «Космический эксперимент по сличению шкал времени средствами оптической лазерной локации»//«Труды МАИ». Выпуск № 80, 2015.
4. Mendes VB, Prates G, Pavlis EC, Pavlis DE, Langley RB (2002) Improved mapping functions for atmospheric refraction correction in SLR. *Geophys Res Lett* 29(10):53–1534. <https://doi.org/10.1029/2001G L014394>
5. Mendes VB, Pavlis EC (2004) High-accuracy zenith delay prediction at optical wavelengths. *Geophys Res Lett*. <https://doi.org/10.1029/2004GL020308>
6. Drożdżewski M and Sońnica K Troposphere delay modeling in SLR based on PMF, VMF3o, and meteorological data. *Progress in Earth and Planetary Science* (2024) <https://doi.org/10.1186/s40645-024-00613-2>

УДК 629.78

eLIBRARY.RU 89.57.35

**Бетанов В.В.**

**Betanov V.V.**

доктор технических наук, профессор  
главный научный сотрудник-  
заместитель начальника

**ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЁННЫХ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ  
КА**

**APPLICATION OF GENERALIZED STRUCTURAL PROPERTIES  
OF MEASUREMENT PROBLEMS TO IDENTIFY THE  
PARAMETERS OF A MATHEMATICAL MODEL OF  
SPACECRAFT MOTION**

**Аннотация.** Исследован системный подход к обеспечению уточнения баллистического коэффициента в математической модели движения космического аппарата. Для нестандартных ситуаций использован подход, учитывающий рассмотрение объект-системы «задача-инструмент решения», позволяющей учесть погрешности всех элементов инструмента навигации. Вводимое структурное свойство «обобщенная наблюдаемость» позволяет решать задачу уточнения  $S_{\delta}$  в традиционных и нетрадиционных условиях.

**Ключевые слова:** космический аппарат, математическая модель движения, баллистический коэффициент, обобщенная наблюдаемость.

**Abstract.** A system approach to ensuring the refinement of the ballistic coefficient in the mathematical model of spacecraft motion is investigated. For abnormal situations, an approach is used that takes into account the consideration of the object-system "task-solution tool", which allows taking into account the errors of all elements of the navigation tool. The introduced structural property "generalized observability" allows solving the problem of refining  $S_{\delta}$  in traditional and non-traditional conditions.

**Keywords:** spacecraft, mathematical model of motion, ballistic coefficient, generalized observability.

Повышение точности прогнозирования движения космических аппаратов (КА) требует согласования математической модели движения и, в частности, модели атмосферы или светового давления, с опытными данными. Для решения этой задачи часто используют баллистический коэффициент ( $S_{\delta}$ ) или коэффициент(ы) светового давления, которые в этом случае выступают в роли коэффициентов согласования [1,2].

Далее вопросы уточнения согласующих коэффициентов (СК), используемых в математических моделях движения (ММД) космических аппаратов, будем проводить на примере уточнения баллистического коэффициента. При этом некоторые «неточности» знания других параметров ММД КА в процессе уточнения  $S_\delta$  по измерительным данным (идентификации ММД КА) будут «перетекать» в уточняемый баллистический коэффициент.

Условием равенства реального и моделируемого ускорения при уточнении баллистического коэффициента является выражение:

$$\rho S_\delta = \rho_m S_m \quad (1)$$

где

$\rho$  – реальная плотность атмосферы,

$S_\delta$  – баллистический коэффициент,

$\rho_m$  – моделируемая плотность,

$S_m$  – моделируемый баллистический (согласующий) коэффициент.

В большинстве случаев моделируемое ускорение торможения включает в себя часть неучтенных моделью движения КА ускорений от других сил. На высотах более 400÷500 километров, где возмущения от атмосферного торможения могут быть сравнимы с другими неучтенными в математической модели движения (ММД) возмущающими факторами, способы уточнения  $S_\delta$ , основанные на условии (1), часто оказываются несправедливыми.

Выбор способа и интервала уточнения  $S_\delta$  зависит от многих факторов и, прежде всего, от средней высоты полета, геогелиофизических параметров, точности определения орбиты. Вопрос уменьшения влияния ошибок определения орбиты КА связан с необходимостью увеличения интервала уточнения  $S_\delta$ . Этот факт, в свою очередь, приводит к нивелированию новых данных об атмосфере, что увеличивает ошибки прогнозирования движения объектов. Кроме того, величина интервала уточнения  $S_\delta$  для каждого типа КА связана с принятой схемой баллистического обеспечения.

Способ и интервал уточнения  $S_\delta$  для различных типов космических аппаратов может меняться в широких пределах. Обычно выбираются интервалы: несколько витков (3-8 часов), 1 сутки, 1 неделя, 4÷5 недель.

При навигационно-баллистическом обеспечении (НБО) управления космическими аппаратами (КА) возникает принципиальная проблема - как в конкретном случае поступать: рассчитывать  $S_\delta$  (или другие параметры идентификации ММД) путем расширения вектора состояния КА с одновременным уточнением НУ движения (может быть другого расширенного вектора состояния), или не использовать принцип дополнительного расширения вектора состояния для

одновременного уточнения идентифицируемого параметра  $S_\delta$  и вектора состояния КА с применением, например, представленных в [1] «скалярных» способов?! Кроме того, дополнительно возникает вопрос: а какой из описанных вариантов решения задачи целесообразно использовать?

Практика оперативного навигационно-баллистического обеспечения полетов КА показывает, что в одних случаях первый из рассматриваемых подходов идентификации достаточно эффективен и надежен при неудовлетворительном применении второго и, наоборот, в других случаях оказывается только второй подход приводит к достижению цели расчетов.

Одним из вариантов решения задачи может служить подход с применением структурных свойств измерительных задач, а именно: с использованием введенных оригинальных понятий обобщенной наблюдаемости и (или) обобщенной идентификации рассматриваемой системы навигационно-баллистического обеспечения управления КА на этапе летных испытаний и эксплуатации.

Перед общей постановкой задачи, позволяющей выработать рекомендации по определению (уточнению)  $S_\delta$  в каждом конкретном случае, отметим ряд факторов, влияющих на величины и значения баллистического коэффициента. К таким факторам можно отнести:

- используемые математические модели движения КА, состав и точность описания возмущающих факторов, описываемых ММД КА;
- характер изменения (оскуляции) орбиты (эксцентриситета, большой полуоси и др.) и высоты полета КА;
- площадь миделевого сечения и динамика ее изменения (конструктивные параметры и технологии эксплуатации);
- состояние солнечной активности и ее вариации в конкретный период;
- объем и погрешности измерений текущих навигационных параметров (ИТНП);
- интервалы уточнения согласующегося параметра-баллистического коэффициента (несколько витков, суточный, недельный, месячный);
- математические методы обработки ИТНП при определении (уточнении)  $S_\delta$  с присущими каждому методу погрешностями расчетов в принятых моделях;
- требуемые точности расчетов, зависящие, прежде всего, от заданных точностей расчета начальных условий движения КА, и некоторые другие характеристики.

Каждый из представленных факторов включает целый спектр возможных вариантов применения в практике НБО моделей, методов,

условий, данных, требований. Конкретно ключевые факторы, отмеченные выше, трансформируются в сотни вариантов и элементов инструментария программно-математического обеспечения автоматизированной системы НБО, которые надо проанализировать, провести расчеты и обосновать применение в условиях оперативного навигационно-баллистического обеспечения управления КА.

Часть подобного анализа и расчетов производится заблаговременно (априорно), а часть непосредственно при проведении работ НБО в оперативном режиме.

Перечень особенностей решения задачи показывает, что она должна решаться в стохастической (вероятностной) постановке и (или) с использованием нечетких сведений о множествах с заданием функций принадлежности. Богатый опыт практических решений подсказывает необходимость применения интеллектуальной (естественной и (или) искусственной) составляющей при расчетах в рамках автоматизированного комплекса программ (АКП) НБО.

Исследования показывают, что для реализации расширения вектора оцениваемого состояния КА целесообразно воспользоваться введенной в [3] так называемой информационной производной, с «физической» точки зрения оперирующей изменением информации до и после опорного отображения, а для осуществления «скалярного» выбора способа оценивания  $S_{\delta}$  можно применить сингулярные ультраоператоры [2], выполняющие интеллектуальную «работу».

Рассмотрение сингулярного ультраоператора (классификатора-распознавателя) (УО) называемым классификатором общего вида [3], позволяет на основе интеллектуального подхода «подсказать» в автоматизированном режиме каков из способов уточнения баллистического коэффициента целесообразно использовать в конкретном случае. Прделанное таким образом описание обеспечит надежное решение задачи в целом. В работе автора [2] приведена коммутативная диаграмма для сингулярного ультраоператора общего вида с элементами оснащения множества вариантов баллистических коэффициентов  $S_{\delta}$  (ультрамножества с применением признаков задача-инструмент решения (объект-системы)). Одновременно производится сравнение с элементами оснащения множества  $S_{\delta}$  как классов-формул расчета баллистического коэффициента.

Прежде чем перейти непосредственно к формированию ядра-таблицы классификатора-распознавателя, необходимо обратить внимание на введенные в [3] канонические УО, для которых выполняется условие гомоморфизма решеток свойств.

Классификатор-распознаватель дает рекомендации оператору-баллистику (или автоматизированной системе управления процессами НБО) по выбору нескольких (или даже только одного конкретного способа) вариантов уточнения баллистического коэффициента.

При этом может показаться, что данная ядро-таблица имеет смысл таблицы простого соответствия: имеется объект-система, включающая, в том числе, элементы инструмента возможных решений и различные способы нахождения согласующих параметров. Однако найденный классификатор-распознаватель носит более широкую функцию и является интеллектуальным средством соответствия и поиска требуемых решений. Детализированное описание классификатора-распознавателя приводит к анализу огромного количества вариантов, которые принципиально позволяют решить поставленную задачу, однако не смогут обеспечить, например, заданные точности или выполнение других условий и требований. При поиске наилучшего способа решения может в полной мере «сработать» свойство эмерджентности системы, когда простой учет дополнительного фактора, например, в спектре описания возмущений в ММД КА принципиально позволит существенно улучшить выходной результат. Задача сильно усложняется при рассмотрении объект-системы расширенного состава, когда в это понятие включаются «внешние» факторы, такие, например, как требования оперативности расчетов или изменения в процессе работ, связанные с конечными точностями определения вычисляемых параметров. Подобная ситуация возникает при определении среди объема поступивших ИТНП аномальных сеансов измерений.

Заключение.

В качестве практического примера отметим важный случай, демонстрирующий отмеченные выше обстоятельства. Важным способом определения баллистического коэффициента для низкоорбитальных КА служит способ уточнения  $S_8$  по ошибке прогнозирования изменения периода обращения. Обычно для КА ДЗЗ с высотами полета на круговых орбитах около 200 - 250 км изменения большой полуоси орбиты за счет сопротивления атмосферы может составить 800 – 1500 м за сутки (около 17 витков полета), а для КА (второй вид КА) с высотами 1000 – 1100 км около 5 м также за счет сопротивления атмосферы за сутки полета. Другой факт: в первом случае за счет не учета тессеральных и зональных (кроме сжатия Земли, гармоника 2.0) гармонических составляющих в модели гравитационного поля Земли (ГПЗ) неточности описания большой полуоси, влияющих на неточность описания драконического периода,

могут составить 150 – 200 м. Поэтому формула для уточнения баллистического коэффициента (по ошибке прогнозирования изменения периода обращения) достаточно хорошо «работает» даже при условиях учета в ММД КА только возмущений от сжатия Земли и статической модели атмосферы при НБО КА с высотами полета 150 – 200 км, так как существенное влияние на величину в расчете  $S_8$  используемого драконического периода «играет» сопротивление атмосферы.

Для второго вида КА не учет (или недостаточный учет в ММД КА влияния гармонических составляющих в модели ГПЗ) приводит к неопределенности за сутки полета в определении большой полуоси в сотни метров, что по сравнению с влиянием сопротивления атмосферы в 5 метров делает рассматриваемую формулу в подходе 2 для уточнения  $S_8$  совершенно не соответствующей действительности. Это яркий пример того факта, что оценка величины полученного баллистического коэффициента как согласующего параметра будет соответствовать рассматриваемым условиям задачи, но совершенно не применима, например, к прогнозированию процесса движения КА, которая рассчитывается по другим значениям, входящим в прогноз движения КА формулам.

Выход для определения оценки баллистического коэффициента по рассматриваемой ошибке прогнозирования изменения периода обращения для второго вида КА следующий. В ММД КА должны учитываться соответствующие зональные и тессеральные гармонические составляющие в модели поля Земли (например, до порядка 8.8). При этом формула для расчета  $S_8$  становится неработоспособной. Для устранения этого факта целесообразно осуществить вычитание из оценки величины драконического периода его возмущения за счет изменений большой полуоси гармоническими составляющими поля Земли. Данные выводы осуществлены с использованием детальных описаний классификаторов-распознавателей для множества вариантов математических моделей движения КА.

### **Литература**

1. Бетанов В.В., Беневольский С.В. Определение баллистического коэффициента космического аппарата по данным измерений. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008, 21с.
2. Тюлин А.Е., Круглов А.В., Бетанов В.В. Уточнение согласующих коэффициентов математической модели движения КА с использованием понятия «обобщенная наблюдаемость». Журнал



«Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы»,  
№ 4, 2020 г., с. 4-16.

3. Чечкин А. В. Математическая информатика. М.: Наука, 1991, 416с.

УДК 629.783

eLIBRARY.RU: 89.21.45

**Сухой Ю.Г.**

**Sukhoi Yu.G.**

доктор технических наук  
старший научный сотрудник  
АО «НПК «СПП», г. Москва

**Мошнин А.А.**

**Moshnin A.A.**

Филиал «ПНБО» АО «НПК «СПП», г. Королев

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ  
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ  
ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

**SIMULATION OF THE MOTION OF A LOW-ORBIT  
SPACECRAFT IN THE EARTH'S ATMOSPHERE UNDER  
CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF HELIOGEOPHYSICAL  
DISTURBANCES**

**Аннотация.** Моделирование параметров движения низкоорбитального космического аппарата в плотных слоях атмосферы Земли с требуемой точностью в условиях неопределенности гелиогеофизических возмущений возможно при адаптации модели движения космического аппарата (КА) к реальным условиям его полета. Адаптация модели движения КА реализуется путем введения в модель уточняемых параметров и обратной связи, по которой осуществляется коррекция параметров модели в результате передачи в модель ошибок прогнозирования параметров движения КА.

**Ключевые слова:** математическая модель движения космического аппарата, модель плотности верхней атмосферы Земли, адаптация, вариации плотности атмосферы, световое давление, ошибки определения и прогнозирования параметров движения.

**Abstract.** Modeling the motion parameters of a low-orbit spacecraft in the dense layers of the Earth's atmosphere with the required accuracy under

conditions of uncertainty of heliogeophysical disturbances is possible when adapting the spacecraft motion model to the real conditions of its flight. The adaptation of the spacecraft motion model is carried out by introducing variable parameters into the model and feedback, which corrects the model parameters based on the transmission of errors in predicting the spacecraft motion parameters to it.

**Keywords:** mathematical model of spacecraft motion, Earth's upper layer atmospheric density model, adaptation, atmospheric density variations, solar and geomagnetic activity, spacecraft motion determination and propagation.

При определении и прогнозировании движения низкоорбитальных КА в настоящее время остается актуальной задача применения адекватных моделей плотности атмосферы Земли, так как они призваны правильно моделировать вековые изменения в параметрах орбит КА. Трудность создания достаточно адекватной модели верхней атмосферы Земли для баллистических расчетов заключается, прежде всего, в том, что параметры атмосферы постоянно меняются под действием множества изменяющихся гелиогеофизических факторов различной природы. В настоящее время широкое применение нашли полуэмпирические (эмпирико-статистические) [1-5] и эмпирические [6, 7] модели. Указанные модели плотности атмосферы Земли дают значения общей плотности атмосферы, отличающиеся между собой на высотах 500-600 км до 50-60% в зависимости от различных гелиогеофизических условий. В этой связи ошибки прогнозирования движения низкоорбитальных КА могут превышать допустимые значения, особенно в условиях, когда нет возможности введения в модель актуальных гелиогеофизических параметров, например, при ее использовании в бортовых вычислительных комплексах.

Применяемые в настоящее время алгоритмы использования моделей атмосферы при определении орбит и прогнозировании движения низкоорбитальных КА основаны на однопараметрической адаптации математической модели движения (ММД) КА к условиям полета в атмосфере путем коррекции только одного параметра - общего значения моделируемой плотности атмосферы.

В данной работе предложены метод и алгоритм многопараметрической адаптации математической модели движения КА к изменяющимся условиям полета КА путем коррекции моделируемых вариаций атмосферы от различных возмущений, а также приведены результаты адаптивного моделирования движения КА в атмосфере Земли. Показано, что многопараметрическая

адаптация позволяет уменьшить ошибки прогнозирования параметров движения КА в плотных слоях атмосферы по сравнению с однопараметрической адаптацией. Приведены преимущества многопараметрической адаптации с использованием аналитических моделей плотности верхней атмосферы Земли SBM-2022 [8] и SM-2024 [9] с переменными параметрами. Приведены рекомендации по их применению в алгоритмах прогнозирования параметров движения низкоорбитальных КА. Показано, что основными условиями (принципами) организации адаптивного процесса при моделировании движения низкоорбитального КА являются:

- выполнение условия квазистационарности (скорость изменения реальных параметров моделей сил не должна превышать скорости изменения неопределенных параметров, которые уточняются в процессе адаптации);
- соответствие неопределенных параметров модели неопределенным параметрам реальных физических процессов;
- использование апостериорной информации;
- использование специфических методов адаптации;
- выполнение дополнительных требований построения моделей и алгоритмов, позволяющих реализовать специфические методы адаптации.

Задача синтеза адаптивного алгоритма состоит в определении по уравнениям, описывающим модель, и критерию адаптации такого алгоритма, чтобы для любых векторов параметров структуры модели и параметров самой модели, принадлежащих заданным множествам, и любых допустимых начальных условий функционирования модели движения КА достигалась (итерационно) цель адаптации – минимизация ошибок моделирования. Отмечено, что методы построения адаптивного алгоритма при детерминированных процессах в целом сводятся к методам решения задач минимизации в функциональном пространстве с использованием методов сходных по смыслу с методами оптимального управления, такими как методы запоминания экстремума искомого функционала; шаговые поисковые методы, в которых делаются пробные изменения неопределенных параметров.

Предложен алгоритм многопараметрической адаптации ММД КА с использованием аналитических моделей плотности атмосферы SBM-2022 и SM-2024. Эти модели наиболее приспособлены к использованию в адаптивной ММД КА, так как они используют аналитические функции, позволяющие корректно брать производные от измеряемых параметров по уточняемым, в том числе по

уточняемым параметрам модели атмосферы [10]. Для решения задачи многопараметрической адаптации с использованием апостериорных данных о торможении космического аппарата предложен комбинированный метод численной оптимизации, основанный на идее обобщенного численного метода минимизации функций многих переменных. Приведены результаты адаптивного моделирования движения КА в атмосфере Земли. Применение многопараметрической адаптации для КА с высотами полета 400-550 км позволяет уменьшить ошибки прогнозирования вдоль орбиты в среднем на 25-30% по сравнению с однопараметрической адаптацией. Показано, что многопараметрическую адаптацию целесообразно использовать в технологических циклах навигационно-баллистического обеспечения управления низкоорбитальными КА.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 25645.166-2004. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.
2. Ю.Г. Сухой. Модель плотности верхней атмосферы Земли в диапазоне высот от 120 до 600 км. // Наблюдения искусственных небесных тел, 1990. - № 86, ч. 2. - С. 8-24.
3. R.J. Suggs and R.M. Suggs: "NASA Marshall Engineering Thermosphere Model, Version MET-2007", NASA/ TM—2017—218238, NASA Marshall Space Flight Center, Huntsville, AL. - 24 pp. - April 2017.
4. L.G. Jacchia, Thermospheric Temperature, Density, and Composition: New Models, Smithsonian. // *Astrophys. Obs. Spec. Rept.* – 1977. - No. 375.
5. Barlier, F., C. Berger, J.L. Falin, G. Kockarts, and G. Thuillier. Comparisons between various semi-empirical thermospheric models of the terrestrial atmosphere. // *J. Atmosph. Terr. Phys.* – 1979. - №41. - С. 527-541.
6. Picone, J.M., Hedin, A.E., Drob, D.P. & Aikin, A.C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparison and scientific issues // *Journal of Geophysical Research: Space Physics.* – 107. - 1468 (2002).
7. Emmert, J.T., Drob, D.P., Picone, J.M., Vargas, F., Williams, B.P., & Yuan, T. (2020). NRLMSIS 2.0: A whole-atmosphere empirical model of temperature and neutral species densities // *Earth and Space Science.* - 8(3). - С. 1-37, Article e2020EA001321. <https://doi.org/10.1029/2020EA001321>
8. Сухой Ю.Г., Брагинец В.Ф., Мошнин А.А. Аналитическая модель плотности верхней атмосферы Земли для баллистико-навигационного

обеспечения полетов космических аппаратов //Космическая техника и технологии, - № 4 (39), - 2022 г. – ISSN 2308-7625. - С. 101-111.

9. Сухой Ю.Г., Мошнин А.А. Применение аналитической модели плотности верхней атмосферы Земли SM-2024 для системы мониторинга космического пространства «Млечный путь» //Тезисы докладов IX Межведомственной научно-технической конференции АО «НПК «СПП» 23-24 мая 2024 г. Казань, 2024 - С. 131-135.

10. Мошнин А.А., Сухой Ю.Г. Адаптивное моделирование параметров движения низкоорбитальных космических аппаратов в атмосфере Земли. //Двойные технологии, - № 2, - 2022 г. - ISSN 1680-2780. - С. 2-7.

Секция 4  
**«К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ И ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ  
МЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ»**

УДК612.32, 612.33, 612.36, 57.045  
eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Соломадин Ю.С.  
Solomadin Y.S.**

младший научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Афонин Б.В.  
Afonin B.V.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**МЕТОДИКА НАКОЖНОЙ ЭЛЕКТРОГАСТРОЭНТЕРОГРАФИИ  
В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО  
ТРАКТА В ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТАХ**

**THE METHOD OF CUTANEOUS  
ELECTROGASTROENTEROGRAPHY IN ASSESSING THE  
FUNCTIONAL STATE OF VARIOUS PARTS OF THE  
GASTROINTESTINAL TRACT IN LONG-TERM SPACE FLIGHTS**

**Аннотация.** Представлены результаты исследования электрической активности (ЭА) различных отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) в длительных космических полетах (КП), полученные с использованием электрогастроэнтерографии (ЭГЭГ)

**Ключевые слова:** электрогастроэнтерография, желудочно-кишечный тракт, электрическая активность, космический полет.

**Abstract.** this study presents the results of the electrical activity of various segments of the gastrointestinal tract obtained using electrogastroenterography in long-term space flights

**Keywords:** electrogastroenterography, gastrointestinal tract, electrical activity, space flight.

Электрогастроэнтерография (ЭГЭГ), метод основанный, на регистрации биоэлектрических потенциалов желудочно-кишечного

тракта (ЖКТ) с поверхности кожи, является наиболее перспективным методом при экспресс-оценке его состояния [1]. Особенно актуально использование этого метода для экспресс-оценки изменений состояния ЖКТ в экстремальных условиях, в частности, в условиях КП [2].

Целью настоящего сообщения являлось представление результатов исследования ЭГЭГ в условиях длительного пребывания космонавтов в невесомости на международной космической станции (МКС).

#### **Материалы и методы**

В исследовании участвовали космонавты 38-56-й экспедиций МКС (22 человека). Накожная электрическая активность (ЭА) различных отделов ЖКТ записывалась с использованием 2-х канального бортового гастроэнтерографа («Спланхограф»), разработанного совместно с НПО «Исток-система». Запись накожных биопотенциалов ЖКТ проводилась в 2-х отведениях. Сеансы исследования у каждого космонавта были проведены за 1 месяц перед началом экспедиции, на 30, 90 и 150 сутки КП. Запись ЭГЭГ проводилось в течение одного часа перед приемом стандартного завтрака, продолжалась во время приема пищи, а, также в течение первого и второго часа после завтрака.

#### **Результаты и обсуждение**

Исследования, проведенные через 1, 3 и 5 месяцев КП в условиях невесомости, показали, что у большинства космонавтов (по отношению к предполетным значениям) отмечается снижение, как амплитуды, так и мощности ЭА всех отделов ЖКТ.

В условиях невесомости снижение ЭА формируется не сразу – через 1 месяц КП исследования ЭА соответствовала дополетным данным, что позволило исключить возможный эффект препаратов против укачивания.

Через 1, 3 и 5 месяцев пребывания в условиях невесомости, во время завтрака, в 1-й и 2-й час после его окончания у большинства космонавтов мощность ЭА всех отделов ЖКТ была ниже предполетных значений. Наличие пищи в желудке сопровождалось не активацией, а угнетением его моторно-эвакуаторной функции, которое распространялось на кишечник. Причиной этого снижения могло быть уменьшение внутрибрюшного давления, отсутствие веса пищевого химуса, предполагающее сокращение энергетических затрат при его продвижении, а также возможное изменение суточных ритмов.

#### *Библиография:*

1. Афонин Б.В. и соавт. Первые эксперименты по электрогастроэнтерографии желудочно-кишечного тракта у

космонавтов на Международной космической станции. – М.: ГНЦ РФ – ИМБПРАН, 2014.

2. Михеев А.Г., Ракитин Б.В., Трифонов М.М. Функциональная диагностика в гастроэнтерологии. – М.: «Медпрактика-М», 2014. 28 с.

УДК 613.6.02

eLIBRARY.RU: 76.35.29

**Котов О.В.**

**Kotov O.V.**

кандидат медицинских наук  
заместитель директора по научной работе  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Поляков М.В.**

**Polyakov M.V.**

доктор медицинских наук  
начальник отдела  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

## **К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ: ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБИТАЕМОСТИ КОСМОНАВТОВ**

### **K.E. TSIOLKOVSKY: ERGONOMIC PROBLEMS OF ASTRONAUTS' HABITABILITY**

**Аннотация.** Идеи К.Э. Циолковского проходят осмысление, играют важную роль при решении сложных проблем обитаемости для осуществления масштабных проектов по исследованию и освоению космического пространства и космических объектов (Луны, Марса и др.).

**Ключевые слова:** Циолковский, космический полет, обитаемость, человеческий фактор, эргономическое обеспечение.

**Abstract.** K.E. Tsiolkovsky's ideas are being comprehended and play an important role in solving complex problems of habitability for the implementation of large-scale projects for the exploration and development of outer space and space objects (the Moon, Mars, etc.).

**Keywords:** Tsiolkovsky, space flight, habitability, human factor, ergonomic support.

К.Э. Циолковский, обосновывая космическую философию, предвосхитил необходимость предвидения и создания условий для



обеспечения жизни и деятельности человека в космическом полете (КП) [1]. С удивительной прозорливостью, еще за долго до начала практической реализации научно-технических проблем учета человеческих факторов (ЧФ) и для осуществления КП, им было обращено внимание на важность удовлетворения физиологических потребностей людей (в воздушной среде для дыхания, пище, воде, отдыхе и т.д.), возможностей (обусловленных пространственными, временными, физическими факторами среды) размещения, реализации физиологических и психических процессов (и механизмов), выполнения действий (поведенческих актов), защиты от неблагоприятных и опасных факторов в штатных и нештатных условиях [1, 2]. На основе идей К.Э. Циолковского была создана научно-методическая база для подготовки и выполнения первых КП с швотными и первыми космонавтов [3], объединившая разработки специалистов с медицинским, психологическим и инженерным образованием в интересах обеспечения обитаемости живых существ (в неземных условиях, в последующем, ставшая основой для появления нового научного направления «Космической эргономики» [4], внедрения системного учета ЧФ при создании объектов космической техники (КТ) - сложных социотехнических космических систем («человеко-машинных» систем), включая космические корабли, орбитальные космические системы, лунные модули и др.) [5]. Развитие масштабных проектов по исследованию и освоению космического пространства и объектов (Луны, Марса и др.) обуславливает необходимость изучения опыта обеспечения эргономических проблем при осуществлении длительных космических экспедиций (КЭ) [5;6]. В этой связи важно оценивать роль и значение разнообразных составляющих элементов: эндогенных (связанных с потребностями и другими характеристиками жизнедеятельности организма индивидуума) и экзогенных (внешних) – природных и порождаемых многообразным взаимодействием свойств пространства, времени, ресурсов, окружающего предметного мира и социума, особенностей процессов подготовки и реализации КЭ.

Подготовка и реализация цели и задач КЭ детерминируют и являются условиями решения эргономических (эргатических) проблем, включающих: прогноз особенностей при выполнении КЭ, заблаговременную проработку вопросов обеспечения потребностей экипажа, снижения рисков и профилактики неблагоприятных воздействий, поддержания профессионального здоровья, надежной и эффективной деятельности, эргономическое проектирование объектов КТ с экипажем, обоснование цели и задач КЭ, состава экипажа и

других составляющих учета ЧФ на основе Программы эргономического сопровождения проекта, определения целей и задач деятельности члену (членам) экипажа КТ для поддержания или создания требуемых параметров на этапах КЭ и обоснования эргономических свойств необходимых условий и средств деятельности, наземной подготовки и всех видов ресурсов. На основе оценки особенностей и изменениями в целях и задачах КЭ, запасов и траты ресурсов цели и задачи деятельности члену (членам) экипажа могут быть изменяться (корректироваться), в определенных пределах.

Идеи К.Э. Циолковского с позиции функционально-целевого подхода нацеливают на проведение анализа по критериям существа, значимости и возможных путей решения проблем обеспечения перспективных КП, открывает новые возможности при разработке КТ и ресурсов, подготовки экипажей, организации и выполнения КЭ, а также последующей реабилитации космонавтов.

### **Литература**

1. Вне Земли. Серия «Космическая философия» 327 с. (Статья вышла в 1920 г. В Калуге отдельным изданием.) по Научно-популярному изданию Константин Эдуардович Циолковский «Космическая философия» [www.tsiolkovsky.org](http://www.tsiolkovsky.org)
2. Поляков М.В, Осецкий Н.Ю., Горнов В.В., Поляков Н.М. К.Э. Циолковский и проблемы обитаемости пилотируемых космических кораблей. В кн.: Материалы 57-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). 2022. Часть 1. С.321-324.
3. История отечественной космической медицины (по материалам военно-медицинских учреждений)/Под ред. И.Б. Ушакова, В.С. Бедненко, Э.В. Лапаева. – М.- Воронеж: Издательство Воронежского института МВД России, 2001. – 320 с.
4. Мешков А.И. Космическая эргономика. – Л.: Из-во «Наука», 1971. – 296 с.
- 5 NASA SPACE FLIGHT HUMAN-SYSTEM STANDARD NASA-STD-3001, VOLUME 2, REVISION C. Human Factors, Habitability, and Environmental Health.
- 6 NASA Human Systems Integration Handbook. LO Rippey - 2021 - ntrs.NASA.gov NASA/SP-20210010952

**Васильев И.М.**

**Vasilev I.M.**

кандидат медицинских наук  
научный сотрудник-хирург  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Ефремова О.И.**

**Efremova O.I.**

кандидат медицинских наук  
старший научный сотрудник  
ФГАОУ ВО РНИМУ им Н.И. Пирогова МЗ РФ

**Томиловская Е.С.**

**Tomilovskaya E.S.**

кандидат биологических наук  
ведущий научный сотрудник-заведующий отделом  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Васильева Г.Ю.**

**Vassilieva G.Yu.**

кандидат медицинских наук,  
ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**ВЛИЯНИЕ 5-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ  
НА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕН МАЛОГО  
ТАЗА У ЖЕНЩИН РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА  
(ЭКСПЕРИМЕНТ «IMMERSION-5F-LF»)**

**THE EFFECT OF 5-DAY "DRY" IMMERSION ON  
HEMODYNAMIC PARAMETERS OF PELVIC VEINS IN WOMEN  
OF REPRODUCTIVE AGE (IMMERSION-5F-LF EXPERIMENT)**

**Аннотация.** Впервые проведено исследование, позволяющее оценить изменение гемодинамических параметров вен малого таза при моделировании микрогравитации. Получены данные, характеризующие состояние гонадных вен и вен параметрия у женщин репродуктивного возраста в острый период адаптации к условиям «сухой» иммерсии.

**Ключевые слова:** венозная гемодинамика, ультразвуковое ангиосканирование, «сухая» иммерсия, моделирование факторов космического полёта, космический полёт.

**Abstract.** For the first time, a study was conducted to assess the change in hemodynamic parameters of pelvic veins during microgravity modeling. The data characterizing the state of gonadal veins and parametric veins in women of reproductive age during the acute period of adaptation to the conditions of "dry" immersion were obtained.

**Keywords:** venous hemodynamics, ultrasound angioscanning, "dry" immersion, simulation of space flight factors, space flight.

Большой объем научных работ, посвященных изучению гемодинамических реакций, которые происходят в организме при действии микрогравитации, показал, что пусковым механизмом развития компенсаторно-приспособительных реакций является устранение гидростатического давления и перераспределение жидких сред организма [1].

Исследования с имитацией невесомости и современным диапазоном диагностических мероприятий позволяют детально изучить динамику физиологических параметров жизнедеятельности и способствуют увеличению возможности оценки адаптивных механизмов организма. Учитывая значительное увеличение числа женщин-участников космических полётов (КП), возрастает необходимость изучения физиологических особенностей адаптации женского организма к факторам КП с последующей оценкой специфических медицинских рисков. Поэтому одной из задач нашего эксперимента с использованием модели «сухая» иммерсия (СИ) стало исследование гемодинамических параметров вен малого таза в острый период адаптации организма женщин репродуктивного возраста к условиям гравитационной разгрузки.

#### **Материалы и методы**

В исследовании приняло участие 16 женщин  $27,8 \pm 5,06$  лет (мин – 22 года, макс – 40 лет). Средний вес составил  $64,6 \pm 11,5$  кг, рост -  $1,7 \pm 0,06$  м, ИМТ -  $23,02 \pm 3,6$  кг/м<sup>2</sup>. Все испытуемые на этапе отбора к участию в эксперименте получили допуск врачебно-экспертную комиссию, патологических изменений со стороны сердечно-сосудистой системы не выявлено. Начало СИ у всех участниц приходилось на 9-12 день менструального цикла. Все женщины имели отрицательный тест на беременность, проведённый за 2-3 часа до начала периода СИ. В анамнезе у двух женщин были беременности, роды только у одной. Время нахождения участниц вне иммерсионной ванны не превышало 15 минут в сутки.

Ультразвуковое ангиосканирование выполняли в утренние часы (за 1 сутки до начала СИ, через 24 часа после начала иммерсионного

воздействия, немедленно после окончания эксперимента и на 7 сутки периода восстановления). Проведено исследование вен нижних конечностей и системы нижней полой вены по клиническому протоколу, включая трансвагинальное исследование гонадных вен (ГВ) и вен параметрия (ультразвуковой сканер Logiq E, GE, USA). ГВ лоцировали в мезогастральных областях (выше уровня перекрестия с подвздошными венами) и измеряли их диаметр, линейную скорость кровотока (ЛСК) и наличие рефлюкса. Оценку диаметра нижней полой вены (НПВ) осуществляли на уровне впадения печеночных вен, а ЛСК – выше уровня конfluence общих подвздошных вен. При изучении внутритазовых вен измеряли диаметр и характер кровотока (ЛСК и/или рефлюкс) в параметральных и аркуатных венах. Данные точки были выбраны для стандартизации проводимого исследования и минимизацией погрешностей при повторных измерениях.

Обработка массива первичных данных проведена в программе Statistica for Windows v. 12.0 (StatSoft, Inc.).

### **Результаты и обсуждение**

В настоящее время проанализированы данные по изменению диаметров гонадных вен и вен параметрия, а также линейная скорость кровотока. Зафиксирована тенденция к увеличению диаметра вен через 24 часа от начала иммерсии и уменьшение диаметра к 5 суткам воздействия с последующим восстановлением в период реабилитации в правой и левой гонадной вене (рис.1). В венах параметрия отмечена тенденция к уменьшению диаметра к 5 суткам иммерсии с последующим возвращением к исходным значениям диаметра вен параметрия в период восстановления после СИ.

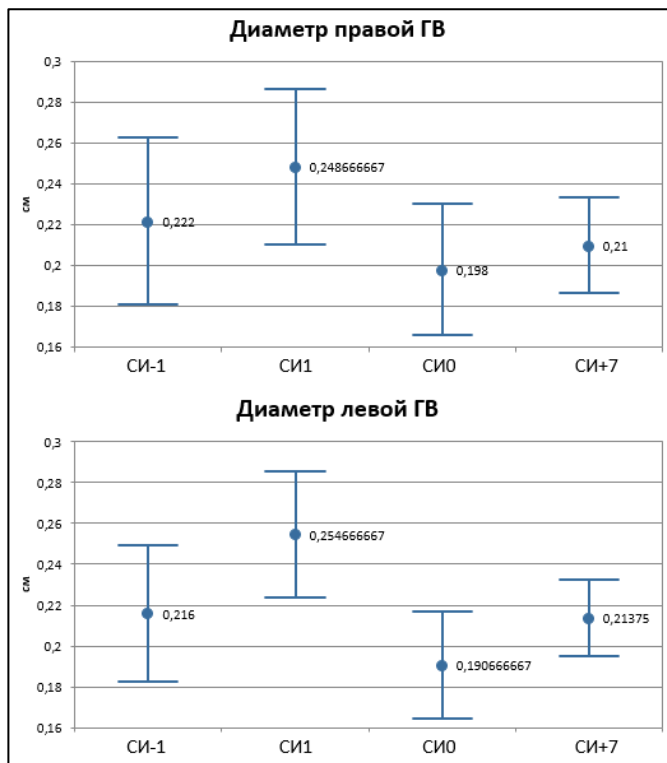


Рис. 1. Динамика изменения диаметра правой и левой гонадных вен

Эксперименты с пребыванием женщин в условиях «сухой» иммерсии крайне редки [2, 3] и в открытой печати нами не найдено аналогичных детальных исследований системы нижней полой вены у женщин при действии факторов КП. Можно предположить, что выявленные изменения гемодинамики в венозном русле сопряжены с перераспределением жидкости в краниальном направлении, гиподинамией и снижением объема циркулирующей крови за время СИ. При этом не получено данных, показывающих критические изменения изучаемых параметров, что свидетельствует о хорошей адаптивной функции организма женщин к условиям, имитирующим невесомость.

## Литература

1. Custaud M.-A., Vinogradova O., Gharib C., Delp M., Guerrero F., Murphy R Editorial: Cardio-vascular Dysfunction and Physiological Manifestations Induced by Environmental Conditions. *Front. Physiol.* – 2022 – V.13:870917. doi: 10.3389/fphys.2022.870917.
2. Tomilovskaya E., Amirova L., Nosikova I., Rukavishnikov I., Chernogorov R., Lebedeva S., Saveko A., Ermakov I, Ponomarev I., Zelenskaya I., Shigueva T., Shishkin N., Kitov V., Riabova A., Brykov V., Abu Sheli N., Vassilieva G., Orlov O. The first female dry immersion (NAIAD-2020): Design and specifics of a 3-day study //*Front. Physiol.* – 2021–V.12:661959. doi:10.3389/fphys.2021.661959.
3. Robin A., Van Ombergen A., Laurens C., Bergouignan A., Vico L., Linossier MT., Pavy-Le Traon A., Kermorgant M., Chopard A., Py G., Green DA., Tipton M., Choukér A., Denise P., Normand H., Blanc S., Simon C., Rosnet E., Larcher F., Fernandez P., de Glisezinski I., Larrouy D., Harant-Farrugia I., Antunes I., Gauquelin-Koch G., Bareille MP., Billette De Villemeur R., Custaud MA., Navasiolava N. Comprehensive assessment of physiological responses in women during the ESA dry immersion VIVALDI microgravity simulation //*Nat Commun.* – 2023 – Oct 9; 14(1):6311. doi: 10.1038/s41467-023-41990-.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

УДК 613.693, 374.71, 659.44

eLIBRARY.RU: 89.27.00, 34.39.00, 76.35.29

**Волошин О.В.**

**Voloshin O.V.**

ведущий специалист – начальник  
рекламно-информационной службы

**Белаковский М.С.**

**Belakovskiy M.S.**

кандидат медицинских наук

заведующий отделом

ведущий научный сотрудник

ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г Москва

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ДОСТИЖЕНИЙ В КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

### NEW APPROACHES TO POPULARIZATION OF ACHIEVEMENTS IN SPACE BIOLOGY AND MEDICINE

**Аннотация.** Популяризация российских разработок и достижений в области космической биологии и медицины может дать значительный эффект в деле формирования самосознания общества и привлечения молодых высокопрофессиональных и мотивированных кадров в космическую медицину и биологию. В ИМБП РАН накоплен богатый опыт, способствующий выполнению данной задачи

**Ключевые слова:** космическая медицина и биология, популяризация научной деятельности, просветительская деятельность, взаимодействие со СМИ.

**Abstract.** Popularization of Russian developments and achievements in the field of space biology and medicine can have a significant effect in shaping the self-awareness of society and attracting young highly professional and motivated personnel to space medicine and biology. The IBMP RAS has accumulated rich experience that contributes to the successful implementation of this task.

**Keywords:** space medicine and biology, popularization of scientific activities, educational activities, interaction with the media.

Государственный научный центр Российской Федерации - Институт медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН) является одним из наиболее авторитетных в мире научно-исследовательских центров, связанных с комплексным решением проблем освоения человеком космического пространства. Основные направления деятельности ИМБП РАН охватывают практически все ключевые проблемы современной биологии, физиологии, психологии и медицины. С первых лет существования основной задачей ИМБП РАН является проведение опережающих исследований, направленных на изучение влияния экстремальных факторов космической среды на человека и другие биообъекты. Такие исследования позволяют обосновать пути предупреждения патологических изменений в организме, создавать искусственную среду обитания, обеспечивающую профессиональную деятельность космонавтов без вреда их здоровью и адекватное возвращение к условиям земной гравитации. [1, с.11-12]



Пилотируемая космонавтика – значимый элемент научно-технической революции. Это та сфера современной деятельности человека, в которой реализуется множество самых передовых разработок. Популяризация этих достижений может дать значительный эффект в деле формирования самосознания общества, особенно молодежи, и привлечения молодых кадров в эту наукоемкую отрасль. ИМБП РАН на протяжении многих лет ведет работу в указанном направлении, понимая ее значимость для развития современного общества.

Для этого предусмотрено как прямое взаимодействие со СМИ, проведение встреч с журналистами, так и публикации в соцсетях, подготовка презентаций в научно-популярном формате сотрудниками центра и др. Основные информационные партнеры ИМБП РАН - Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС), Международное информационное агентство «Россия сегодня» (МИА «Россия сегодня»), информационная группа «Интерфакс», МИЦ «Известия», Всероссийская государственная телевизионная и радиовещательная компания (телеканалы Россия-1, Россия-2, Россия-24, «Культура»), телекомпании «Первый канал», «Звезда» и др. [2]

Кроме традиционных интервью, комментариев и пресс-релизов специалисты ИМБП РАН участвуют в съемках научно-популярных и документальных фильмов, в пресс-конференциях, в частности – в Международном мультимедийном пресс-центре МИА «Россия сегодня» и пресс-центре МИЦ «Известия». Кроме того, у ИМБП РАН имеются страница в социальной сети ВКонтакте и телеграмм-канал, которые активно используются для публикации, в том числе, информации о важных событиях в работе института.

Другим важным направлением является лекционная и презентационная активность. Сотрудники ИМБП РАН регулярно освещают его деятельность на различных научно-популярных платформах и научных фестивалях.

Об эффективности такой деятельности свидетельствует рост числа молодых сотрудников в составе института, а также количества молодежи, участвующей в подобных мероприятиях. Это способствует ознакомлению широкой публики с деятельностью ИМБП РАН, с использованием космических технологий на Земле и в космосе, а также вносит значимый вклад в привлечение активной молодежи как в научную сферу, так и в космическую медицину в частности.

## Литература

1. Институт медико-биологических проблем: полвека на службе науке и человеку в Космосе и на Земле / Отв. ред. А.И. Григорьев, И.Б. Ушаков. – М.–Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2013. – 488 с.
2. Белаковский М.С., Буравкова Л.Б., Волошин О.В., Левинских М.А. Образовательные траектории и просветительская деятельность в области космической биологии и медицины. / Под редакцией академика РАН О.И. Орлова. – М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2023. – 140 с.

УДК 613.693

eLIBRARY.RU: 89.01.09

**Гвоздкова К.В.**

**Gvozdкова K.V.**

**Гуськов С.Г.**

**Guskov S.G.**

**Дворников М.В.**

**Dvornikov M.V.**

доктор медицинских наук, профессор

**Максимова И.Д.**

**Maksimova I.D.**

**Матюшев Т.В.**

**Matyushev T.V.**

доктор биологических наук

кандидат технических наук

**Меденков А.А.**

**Medenkov A.A.**

доктор медицинских наук

кандидат психологических наук, профессор

**Мальшев А.Д.**

**Malyshev A.D.**

**Рыбина А.С.**

**Rybina A.S.**

**Немцева А.С.**

**Nemtseva A.S.**

**Шейна М.А.**

**Sheina M.A.**

Московский авиационный институт, г. Москва

НИИЦ авиационно-космической медицины

**О ЮБИЛЕЯХ УЧЁНЫХ ИНСТИТУТА АВИАЦИОННОЙ  
И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ И ИХ ВКЛАДЕ  
В АВИАКОСМИЧЕСКУЮ МЕДИЦИНУ**

**ABOUT ANNIVERSARIES OF SCIENTISTS OF THE INSTITUTE  
OF AVIATION AND SPACE MEDICINE  
AND THEIR CONTRIBUTION TO AEROSPACE MEDICINE**

**Аннотация.** Статья посвящена 100-летию со дня рождения видных ученых института авиационной и космической медицины Б.И. Абидина, Н.А. Гайдамакина, А.А. Гюрджяна, Е.А. Коваленко, Ю.А. Петрова и Ю.Ф. Удалова и их вкладу в теорию и практику авиакосмической медицины. Приводятся факты и данные об их научной деятельности в период исследования проблем учета человеческого фактора при создании, испытании и эксплуатации авиационной и космической техники, а также разработки и внедрения методов и способов формирования и поддержания работоспособности летного состава и космонавтов в различных условиях профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** безопасность космических полетов, космическая медицина, подготовка космонавтов, система жизнеобеспечения,

**Abstract.** The article is devoted to the 100th anniversary of the birth of prominent scientists of the Institute of Aviation and Space Medicine B.I. Abidin, N.A. Gaidamakin, A.A. Gurjjan, E.A. Kovalenko, U. P. Petrov and U.F. Udalov and their contribution to the theory and practice of aerospace medicine. The facts and data on their scientific researches on heat of compressive study of human factors in creation, generation and maintenance aviation and space technology, and standardization and development ways of formation and keeping availability of flight personnel and cosmonauts in different conditions of professional activity.

**Keywords:** space flight safety, space medicine, cosmonaut training, life support system.

В этом году мы отмечаем 100-летние юбилеи видных деятелей авиационной и космической медицины, посвятивших свою жизнь делу, о котором мечтал и искренне верил в его осуществимость К.Э. Циолковский. Люди, о которых пойдет в докладе, в разные годы трудились в Научно-исследовательском институте авиационной и

космической медицины, зарекомендовали себя как талантливые ученые и организаторы научных исследований медико-биологических проблем пилотируемых космических полетов. Путь в авиационную и космическую медицину Б.И. Абидина, Н.А. Гайдамакина, А.А. Гюрджяна, Е.А. Коваленко, Ю.А. Петрова, и Ю.Ф. Удалова был различным, но их вклад в фундаментальную теорию и историческую практику авиакосмической медицины бесценен.

**Удалов** Юрий Федорович родился 25 января 1924 в городе Свердловск. Участник Великой Отечественной войны. В 1949 году окончил ВММА, прошел путь от младшего научного сотрудника до заместителя начальника отдела ИАиКМ, являлся заведующим кафедры биохимии Московского института физической культуры.

Ю.Ф. Удалов известен исследованиями по обоснованию норм питания летчиков и космонавтов, занимался изучением особенностей обмена веществ, обмена витаминов при воздействии экстремальных факторов деятельности. Им обоснована рецептура и методика применения витаминного комплекса «азровит» и комплекса витаминов с минеральными веществами «компливит», которые обладают адаптогенным действием, повышают переносимость факторов полета, экстремальных физических нагрузок. Исследовал влияние факторов летной деятельности и питания на липидный обмен и обосновал ряд мер профилактики атеросклероза среди летного состава.

Автор и соавтор более 400 печатных работ, в том числе 7 монографий, ряда учебных пособий и руководств, под его руководством подготовлено и защищено 17 кандидатских диссертаций. Награжден орденами Отечественной войны I степени, Красной Звезды, медалью «За боевые заслуги» и др., в том числе медалью ВДНХ за разработку и внедрение в медицинскую практику компливита.

**Коваленко** Евгений Александрович родился 11 мая 1924 в городе Киев, Украина, является специалистом в области авиационной и космической медицины, патофизиологом, доктором медицинских наук, профессором, полковником медицинской службы. Окончил Кубанский медицинский институт, адъюнктуру Военно-медицинской академии, прошел путь от младшего сотрудника до заведующего лабораторией ИАиКМ, являлся заведующим отделом и ведущим научным сотрудником ИМБП.

Е.А. Коваленко занимался исследованием проблем кислородного обеспечения тканей при различных воздействиях факторов авиационных и космических полетов, изучал влияние гипотермии на течение кислородного голодания при нахождении на больших

высотах, оценивал напряжение кислорода в тканях организма при действии высоты и перегрузок, исследовал газовый состав пузырей высотной тканевой эмфиземы, занимался проблемой дыхания под повышенным давлением. Под его руководством было начато экспериментальное изучение гипокинезии с позиций патофизиологии, разработан и апробирован новый метод импульсной адаптации к гипоксии. Исследовал патогенез воздействия длительной невесомости и гипокинезии на организм человека, изучал водный обмен при длительной гипокинезии, оценивал физическую работоспособность и кислородное обеспечение организма при физических нагрузках после длительной гипокинезии, разрабатывал наземную модель внекорабельной деятельности космонавтов.

Действительный член Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, руководитель Центра по изучению фундаментальных и прикладных проблем гипоксии, автор и соавтор 260 научных работ, в том числе 5 монографий, 10 изобретений, под его руководством подготовлено и защищено 18 кандидатских и 5 докторских диссертаций. Награжден орденами и медалями, в том числе медалями им. С.П. Королева, М.В. Келдыша, Ю.А.Гагарина, Золотой медалью Академии наук Чехословакии.

**Петров** Юрий Адрианович родился 6 июня 1924 в городе Москва, окончил ВМА (1949), философский факультет ЛГУ (1950), являлся начальником отдела ИАиКМ (1961-1964) и заведующим лабораторией и заведующим отделом (1964-1975) ИМБП.

Ю.А. Петров занимался оптимизацией систем отображения информации на приборных досках ЛА с учетом психофизиологических возможностей летчика и космонавта, одновременно им исследовались проблемы отбора и тренировок летного состава, восприятия и переработки оперативной информации, разрабатывал психофизиологические методы исследования деятельности космонавта. Был руководителем и непосредственным участником работ по отбору и тренировке членов «экипажа» луноходов, участвовал в построении систем дистанционного управления луноходом и в сеансах управления им при движении по лунной поверхности, занимался вопросами психологического обеспечения операторской деятельности. Автор и соавтор более 80 научных трудов. Награжден медалями.

**Гюрджян** Армен Арамович родился 30 июня 1924 в городе Кизляр, Дагестан. Окончил Северо-Осетинский медицинский институт (1947), аспирантуру Института физиологии им. И.И. Павлова (1950). За свою яркую карьеру служил в должности начальника медицинского

пункта (1951), старшего научного сотрудника экспериментальной лаборатории Главного военного госпиталя им. Н.Н.Бурденко (1952), научного сотрудника ИАМ (1956); старшего научного сотрудника (1960); начальника отдела (1964) ИАиКМ; врача-физиолога ЛАМ (1968); научного сотрудника (1972), начальника отдела (1979) ИАиКМ; старшего научного сотрудника ИМБП (1983).

А.А. Гюрджиан известен исследованиями порогов чувствительности сенсорных систем зрительного анализатора в процессе свето-темновой и цветовой адаптации глаза. Принимал участие в подготовке и осуществлении биологических экспериментов на кораблях-спутниках. Занимался проблемами жизнеобеспечения животных и организацией комплексных исследований влияния радиации на биологические объекты в космосе. Изучал длительное действие повышенной гравитации на организм млекопитающих. Проводил исследования в области космической радиобиологии, гравитационной биологии и физиологии. Изучал физиологические механизмы пространственной ориентировки летчиков в полете. Занимался вопросами функциональной асимметрии головного мозга. Под руководством А.А. Гюрджиана начат выпуск систематических библиографических указателей «Медико-биологические и социально-психологические проблемы космических полетов». Является одним из составителей двух англо-русских словарей по авиакосмической медицине и многоязычного словаря по космонавтике. Работал над историей космической биологии и медицины. Действительный член Международной академии астронавтики (1969), Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (1991), член редколлегии ряда журналов, автор и соавтор свыше 160 работ. Награжден медалями.

**Гайдамакин** Николай Александрович родился 17 июля в селе Екатериновка Дубовского района Волгоградской области. Участник Великой отечественной войны. Награжден орденом Отечественной войны, медалями «За отвагу», «За оборону Сталинграда», «За взятие Кенигсберга» и др. В 1954 году окончил Военно-медицинский факультет при Саратовском медицинском институте (1954). Служба Н.А. Гайдамакина в ИАиКМ началась с должности адъюнкта, после окончания которой прошел стадии младшего и старшего научного сотрудника. Все эти годы Н.А. Гайдамакин занимался исследованиями патологической анатомии радиационных поражений и ее особенностей при воздействии некоторых видов ионизирующих излучений, разработкой различных средств противорадиационной защиты, а также изучением комбинированного воздействия на организм ионизирующих излучений и факторов авиационного и космического

полета. После окончания военной службы полковник медицинской службы Н.А. Гайдамакин продолжил работу врачом отделения функциональной диагностики 9-й поликлиники Московского гарнизона. Автор и соавтор более 130 научных работ, под его руководством подготовлены и защищены 3 кандидатские диссертации.

**Абидин** Борис Игнатьевич родился 12 ноября 1924 года в городе Самарканд, Узбекистан. В 1947 году окончил Военно-морскую медицинскую академию, а в 1955- Военный институт иностранных языков. До поступления в институт авиационной медицины был врачом Разведуправления особого назначения (1947), начальником медико-санитарной службы береговой базы охраны водного района (1948), начальником токсикологического отделения токсикологической лаборатории (1949) Черноморского флота; начальником кабинета— старшим научным сотрудником кафедры токсикологии и санитарно-химической защиты ВМА (1953); старшим офицером, старшим инспектором отдела Управления начальника медицинской службы ВМФ (1955-1961). С 1961 года работал на базе ИАиКМ и в 1967 году был заместителем начальника отдела.

Б.И. Абидин известен исследованиями влияния различных токсических факторов на функциональное состояние и здоровье авиационных специалистов. Изучал биологические эффекты отравляющих веществ. Оценивал устойчивость организма животных к различным воздействиям. Занимался исследованием влияния гипоксической гипоксии на переносимость организмом различных факторов. Разрабатывал требования к предельно допустимым концентрациям вредных веществ в кабинах летательных и космических аппаратов. Изучал вопросы регламентирования окиси углерода в искусственной атмосфере герметизированных помещений с учетом воздействия на человека нормобарической гипероксии и гиподинамии. Принимал участие в разработке медико-технических требований к системам очистки и регенерации искусственной атмосферы космических кораблей и станции. Награжден медалями «За боевые заслуги», «За победу над Германией» и др., нагрудным знаком «Отличнику здравоохранения» (1974).

Краткая информация о замечательных ученых ГосНИИИ авиационной и космической медицины Б.И. Абидине, Н.А. Гайдамакине, А.А. Гюрджиане, Е.А. Коваленко, Ю.П. Петрове, и Ю.Ф. Удалове – 100-летних юбилярах 2024 года будет способствовать сохранению светлой памяти их яркой жизни, их самоотверженной деятельности, а также результатов их научного творчества, внесшего заметный вклад в историю отечественной космической медицины и в

успешное осуществление первых космических полетов.

### **Литература**

1. Меденков А.А., Рысакова Л.С., Денисова Т.В. Деятели М42 авиационной и космической медицины и психофизиологии. - М.: Полет, 2004. - 424 с.
2. Абидин Б.И., Белкин В.И., Кустов В.В. Комплексное воздействие гипокинезии и повышенного содержания кислорода на устойчивость животных к окиси углерода //Косм. биол. и авиакосмической медицина. — 1976. — Т. 10, № 4. — С. 79-80.
3. Гайдамакин Н.А., Петрухин В.Г., Давыдов Б.И. К механизму снижения переносимости перегрузок под влиянием радиозащитных фармакологических веществ // Пробл. косм. биол. Т.14. М.: Наука, 1971. - С. 38-44.
4. Коваленко Е.А. Действие невесомости и пониженной гравитации Патологическая физиология экстремальных состояний. - М., 1973. - С. 312-332.
5. Коваленко Е.А., Туровский Н.П. Гипокинезия. - М.: Медицина, 1980. - 320 с.
6. Петров Ю.А. Методика психофизиологического исследования в открытом космосе И Проблемы космической медицины. - М., 1966. - С. 306-307.
7. Петров Ю.А. Физиолого-гигиенические и психологические аспекты организации жизни в кабине космического корабля // Основы космической биологии и медицины: Т. 3. - М.: Наука, 1975. - С.165-198
8. Дорофеев Г.И., Удалов Ю.Ф. Проблемы атеросклероза у летного состава. - Л.: Изд- во ВМА, 1979.-38 с.

УДК 612.842.6

eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Грачева М.А.<sup>1,2</sup>**

**Gracheva M.A.**

кандидат биологических наук  
старший научный сотрудник

**Казакова А.А.<sup>1,2</sup>**

**Kazakova A.A.**

кандидат медицинских наук  
старший научный сотрудник

**Алескеров А.М.<sup>1</sup>**

**Aleskerov A.M.**



младший научный сотрудник

**Манько О.М.<sup>1</sup>**

**Manko O.M.**

доктор медицинских наук

заведующий лабораторией

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Институт проблем передачи информации им А.А. Харкевича РАН,

г. Москва

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ИСПЫТАТЕЛЕЙ  
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С 21-ДНЕВНОЙ  
АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИЕЙ**

**EYE RETINA INVESTIGATION IN 21-DAY HEAD-DOWN TILT  
BED REST**

**Аннотация.** В работе проведено исследование состояния сетчатки глаза до и после пребывания испытуемых в условиях 21-дневной антиортоstaticеской гипокинезии (АНОГ). У 4 испытуемых мужчин (ср.знач±станд.откл. - 29.3±3.9 лет) проведена оптическая когерентная томография сетчатки. После воздействия АНОГ было показано увеличение толщины сетчатки в зоне макулы; увеличение толщины сетчатки в зоне диска зрительного нерва не достигло уровня статистической значимости, но по абсолютным значениям согласуется с данными других исследователей.

**Ключевые слова:** зрительная система человека, антиортоstaticеская гипокинезия (АНОГ), ассоциированный с космическим полетом нейро-окулярный синдром, SANS синдром, оптическая когерентная томография сетчатки.

**Abstract.** In this work we studied the state of the retina before and after the subjects' stay in 21-day head-down tilt bed rest. Optical coherence tomography of the retina was performed in 4 male subjects (mean±standard deviation - 29.3±3.9 years). After exposure to head-down tilt bed rest, an increase in retinal thickness in the macula zone was shown; the increase in retinal thickness in the optic disc zone did not reach statistical significance, but in absolute values is consistent with the data of other researchers.

**Keywords:** human visual system, head-down tilt bed rest experiments, space-associated neuro-ocular syndrome (SANS), optical coherence tomography.

## **Введение**

Стратегия увеличения длительности космических полетов предъявляет всё более высокие требования к здоровью космонавтов, к методам медицинского отбора и к средствам профилактики негативных изменений, вызванных полетом. Зрительная система, как и другие системы организма, может реагировать на космический полет рядом изменений [1, 2]. Комплекс зрительных симптомов, возникающих у космонавтов, принято называть SANS-синдром: ассоциированный с космическим полетом нейро-окулярный синдром (space-associated neuro-ocular syndrome). Поскольку одним из наиболее частых симптомов SANS является отек диска зрительного нерва, анализ толщины сетчатки может оказаться важным маркером состояния испытуемых.

## **Материалы и методы**

В ходе эксперимента испытуемые находились 21 день в положении строго лежа с наклоном головы ниже ног на 6°. Исследование проводилось на базе ИМБП РАН. Для проведения измерений использовался оптический когерентный томограф (далее - ОКТ) Optovue RTVue XR Avanti System. Были получены данные 4 испытуемых мужчин, ср. возраст  $\pm$  станд.отклон: 29.3 $\pm$ 3.9 лет.

## **Результаты**

В работе исследовались две зоны сетчатки: зона макулы (включающая зону наилучшего видения – фовеа) и зона диска зрительного нерва.

### ***Анализ толщины сетчатки в зоне диска зрительного нерва***

Результаты оценки толщины сетчатки в зоне диска зрительного нерва представлены на рис. 1.

Из рисунка видно, что медианы значений толщины были выше как для всей зоны диска (перипапиллярной зоны), так и при отдельном анализе верхнего и нижнего полуколец. Полученные величины разностей толщин сетчатки до и после 21-дневной АНОГ согласуются с данными других исследователей [3], однако в нашей работе различия не достигли уровня статистической значимости.

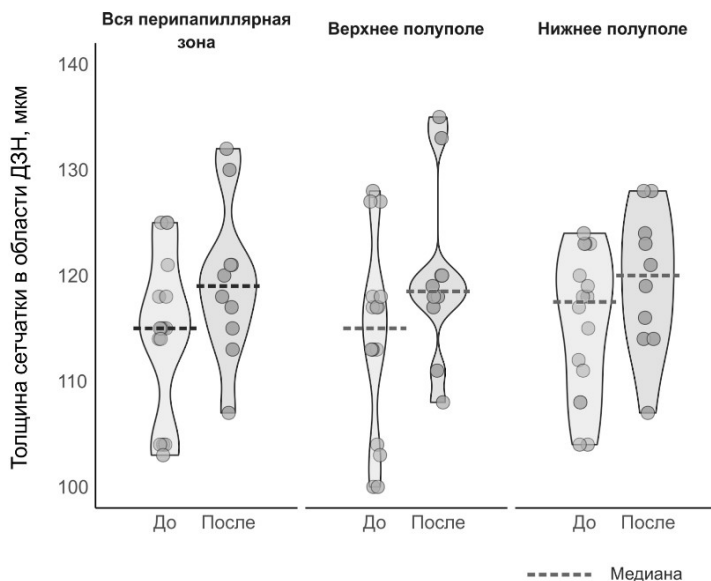


Рис. 1. Показатели толщины слоя нервных волокон сетчатки в зоне диска зрительного нерва до и после нахождения испытуемых в 21-дневном эксперименте АНОГ. Данные представлены в виде скрипичных графиков (violin plot). Точками представлены индивидуальные данные. Штриховой линией отмечены медианы распределений. Огибающие отражают плотность распределения.

#### ***Анализ толщины сетчатки в зоне макулы***

Результаты оценки толщины сетчатки в зоне диска зрительного нерва представлены на рис. 2.

В нашей работе впервые было показано утолщение зоны макулы после воздействия АНОГ.

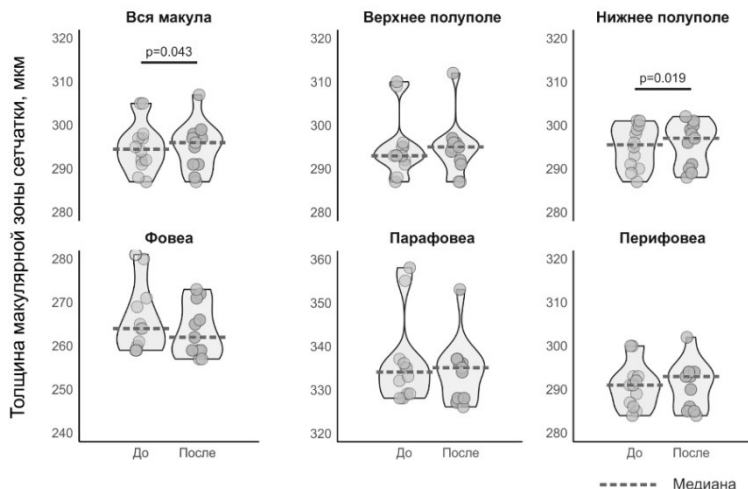


Рис. 2. Показатели толщины макулярной зоны сетчатки до и после нахождения испытуемых в 21-дневном эксперименте АНОГ. См. комментарии под рис. 1.

### Выводы

В данной работе мы впервые показали увеличение толщины сетчатки в зоне макулы у обследуемых после воздействия 21-дневной АНОГ. Изменения в зоне диска зрительного нерва согласуются с данными других исследователей, однако в нашей работе не достигли уровня статистической значимости.

Результаты исследования были представлены в работе [4].

### Финансирование

Работа выполнена в рамках научной темы ИМБП РАН FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4;3.1.9;5.1.1) и в рамках государственного задания ИППИ РАН (НИОКТР Тема №1.2.1-0028/24, регистрационный номер 1021061609839-4-1.2.1;1.6.23 от 18 апреля 2023 г.).

### Литература

1. Mader T.H., Gibson C.R., Pass A.F. et al. Optic disc edema, globe flattening, choroidal folds, and hyperopic shifts observed in astronauts after long-duration space flight // *Ophthalmology*. – 2011. – V. 118. – №. 10. – P. 2058-2069.
2. Stenger M.B., Laurie S.S., Sadda, S.R. et al. Focus on the optic nerve head in spaceflight-associated neuro-ocular syndrome // *Ophthalmology*. – 2019. – V. 126. – №. 12. – P. 1604-1606. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2019.09.009>.

3. Taibbi G., Cromwell R.L., Kapoor K.G. et al. The effect of microgravity on ocular structures and visual function: a review // Survey of ophthalmology. – 2013. – V. 58. – №. 2. – P. 155-163.
4. Gracheva M.A., Kazakova A.A., Manko O.M. State of the retina and optic nerve in 21-day head-down tilt bed rest. Hum Physiol. – 2023. V. 49. – № 6 – P. 625–634. <https://doi.org/10.1134/S0362119723600224>

УДК: 613.693

eLIBRARY.RU: 06.73.21

**Даниличев С.Н.**

**Danilichev S.N.**

ведущий врач-офтальмолог ЦПК им. Ю.А.Гагарина

г. Звёздный городок

**Манько О.М.**

**Manko O.M.**

ведущий научный сотрудник

зав. лабораторией

« Физиология и психофизиология зрительной системы»

ГНЦ РФ-ИМБП РАН, г. Москва

## **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ДИСКА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА В ДЛИТЕЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЁТЕ**

## **MONITORING THE CONDITION OF THE OPTIC NERVE DISC DURING A LONG-TERM SPACE FLIGHT**

**Аннотация.** В условиях длительного орбитального космического полета существует медицинский риск со стороны зрительной системы – развитие космического нейроокулярного синдрома (Spaceflight-Associated Neuro-ocular Syndrome (SANS)). Мониторинг за состоянием зрительного нерва проводится на борту МКС с помощью оптической когерентной томографии глаза, цифровой фундускопии. В ходе анализа данных томографии сетчатки космонавтов до и после космического полёта была выявлена специфика проявления SANS, определяющая дальнейшую тактику медицинского мониторинга.

**Ключевые слова:** космический нейроокулярный синдром, SANS, отек зрительного нерва, зрительные функции, УЗИ глаза, оптическая когерентная томография глаза, цифровая фундускопия, длительный орбитальный космический полет.

**Abstract.** In conditions of long-term orbital space flight, there is a medical risk from the visual system - the development of space neuro-ocular syndrome (Spaceflight-Associated Neuro-ocular Syndrome (SANS)). The condition of the optic nerve is monitored on board the ISS using optical coherence tomography of the eye, digital funduscopy. During the analysis of the pre- and post-flight retinal tomography data of astronauts, the specifics of the manifestation of SANS were revealed, which determines the further tactics of medical monitoring.

**Keywords:** cosmic neuro-ocular syndrome, SANS, edema of the optic nerve, visual functions, ultrasound of the eye, optical coherence tomography of the eye, digital funduscopy, a long-term orbital space flight.

В своих работах, посвященных вопросам орбитальных космических полетов, К.Э. Циолковский большое внимание уделял влиянию на организм человека гипогравитации. С появлением высокоточной диагностической аппаратуры, позволяющей регистрировать состояние глазного дна во время космического полета, у 60% астронавтов и космонавтов в ходе длительного орбитального космического полета (далее – ДОКП) выявляются структурные дефекты в зоне диска зрительного нерва и сетчатки глаза. Такое состояние получило название «космический нейроокулярный синдром» - Spaceflight-Associated Neuro-ocular Syndrome (SANS) (1).

По данным National Aeronautics and Space Administration (NASA), собранным до, во время и после космического полета, у астронавтов присутствует один или несколько характерных признаков SANS: отек диска зрительного нерва, хориоретинальные складки, деформация сетчатки (хориоретинальные складки), деформация (уплощение) глазного яблока или гиперметропические сдвиги при аномалиях рефракции (2,3,4).

Анализ результатов исследования зрения до, во время и после полета выявил следующие изменения: симптомы SANS были диагностированы у 3 из 5 космонавтов по результатам оптической томографии глаза. Оценка остроты зрения, цифровая фундускопия глаза не выявила отрицательной динамики относительно дополетного исследования глаз.

Результаты оптической когерентной томографии глаза подтверждали наличие симптома SANS – отека сосудистой оболочки вокруг диска зрительного нерва. Увеличение толщины сетчатки в этой зоне наблюдалось в среднем на 120 микрон на 3 сутки после космического полета. На 14 сутки после полета наблюдалась

стабилизация процесса и возвращение к дополетным показателем у космонавтов с диагностированным SANS.

### **Выводы.**

Оценка динамики состояния диска зрительного нерва позволяет сделать вывод о том, что отек сетчатки до 200 микрон, выявляемый в первые 3 месяца во время длительного орбитального космического полета и сохраняющийся в первые сутки после полета, является компенсаторным проявлением действия невесомости на сосудистую систему сетчатки и зрительного нерва.

Работа выполнена в рамках НИР РАН FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4.;1.9; 5.1.1.)

### **Литература**

1. Evidence Report SANS, 2017.
2. Даниличев С.Н., Пронин С.В., Шелепин Ю.Е., Куликов Н.А., Манько О.М. Оптические и психофизические исследования зрительной системы космонавтов до и после длительных орбитальных полетов // Оптический журнал. – 2019. – Т.86. – №11. – С.21-27.
3. Anderson A.P., Butterfield J.S., Subramanian P.S., Clark T.K. Intraocular pressure and cardiovascular alterations investigated in artificial gravity as a countermeasure to spaceflight associated neuro-ocular syndrome // Journal of Applied Physiology. – 2018. – V.125 (2). – P.567-576.
4. Laurie, S.S., Greenwald S.H., Marshall-Goebel K. et al. Optic disc edema and chorioretinal folds develop during strict 6° head-down tilt bed rest with or without artificial gravity // Physiological Reports. – № 9. – e14977. – Access: <https://doi.org/10.14814/phy2.14977> (дата обращения: 01.09.2023).

УДК 613.693

eLIBRARY.RU: 89.01.09

**Дворников М.В.**

**Dvornikov M.V.**

доктор медицинских наук, профессор

**Жданько И.М.**

**Zhdanko I.M.**

доктор медицинских наук, доцент

**Матюшев Т.В.**

**Matyushev T.V.**

доктор биологических наук

кандидат технических наук

**Меденков А.А.**  
**Medenkov A.A.**  
доктор медицинских наук  
кандидат психологических наук, профессор  
**Максимова И.Д.**  
**Maksimova I.D.**  
**Мальшев А.Д.**  
**Malyshev A.D.**  
**Рыбина А.С.**  
**Rybina A.S.**  
Московский авиационный институт, г. Москва  
**Хоменко М.Н.**  
**Khomenko M.N.**  
доктор медицинских наук, профессор

## РОССИЙСКОЙ АВИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ 115 ЛЕТ

### RUSSIAN AVIATION MEDICINE IS 115 YEARS OLD

**Аннотация.** Статья посвящена 115-летию российской авиационной медицины. Показаны основные этапы ее возникновения и развития. Отмечен вклад видных ученых и практикующих врачей в медицинском обеспечении летной деятельности. Изложены основные направления исследований в интересах обеспечения безопасности авиационных и космических полетов.

**Ключевые слова:** авиационная медицина, безопасность авиационных и космических полетов, космическая медицина, подготовка летчиков и космонавтов.

**Abstract.** The article is devoted to the 115th anniversary of the Russian aviation medicine. The main stages of its origin and development are shown. The contribution of prominent scientists and practitioners in the medical support of flight activities was noted. The main directions of research in the interests of ensuring the safety of aviation and space flights are outlined.

**Keywords:** aviation medicine, aviation and space flight safety, space medicine, pilot and cosmonaut training.

Датой основания отечественной авиационной медицины принято считать 14 июля 1909 года, когда на заседании Всероссийского аэроклуба был рассмотрен вопрос о необходимости медицинского освидетельствования летчиков. В 1910 году Военным ведомством



России приказом № 481 было утверждено «Расписание болезней и физических недостатков, препятствующих службе офицеров, нижних чинов и вольнонаемных механиков в воздухоплавательных частях на аэростатах и аэропланах» и первая врачебно-летная комиссия начала свою работу. С самого начала деятельности авиационных медиков возникли проблемы выбора критериев годности к летному труду по медицинским или психофизиологическим показателям. Актуальность этой дилеммы сохраняется до настоящего времени.

Важной вехой в истории авиационной медицины стал 1920 год. В авиационных школах стали организовываться психофизиологические лаборатории. В 1921 году, на IV Всероссийском съезде работников Воздушного Флота было принято решение о создании в Москве Центральной психофизиологической лаборатории (ЦПФЛ) Военно-воздушных сил Рабоче-крестьянской красной армии (ВВС РККА. В 1924 году в Главном управлении ВВС РККА была введена должность медицинского инспектора для координации вопросов медицинского обеспечения ВВС, на которую был назначен Н.М. Добротворский. Приказом Реввоенсовета СССР № 874 от 28 июня 1924 года утверждается Положение о ЦПФЛ ВВС РККА. Первоочередными задачами ЦПФЛ стало изучение профессиональных и психофизиологических особенностей деятельности летного состава, воздействия вредных факторов, гигиеническое обеспечение, а также предупреждения катастроф. В те годы вопросами здравоохранения РККА занималось Военно-санитарное управление, которое подчинялось Наркомздраву РСФСР, оно же решало все организационные и кадровые вопросы ЦПФЛ. Положительное влияние ЦПФЛ на развитие авиации было несомненным. Но многих смущала увлеченность некоторых сотрудников методами психотехники, перспективного направления тех лет за рубежом.

К сожалению, в те годы обострились проблемы военно-санитарного обеспечения в РККА, которые коснулись авиационной медицины. В 1930 году на базе ЦПФЛ был создан авиационный сектор Научно-исследовательского санитарного института РККА. С 1932 года его возглавил физиолог - В.В. Стрельцов. С 1930 года руководство новым институтом перешло военно-санитарному управлению. Объем исследований летной деятельности снизился, а востребованность в них на фоне бурного развития авиации возросла. Устранение этого противоречия привело к тому, что в 1935 году авиационный сектор был расширен и преобразован в самостоятельный Авиационный научно-исследовательский санитарный институт, который в 1936 году переименовывается в Институт авиационной медицины Рабоче-

крестьянской Красной армии им. И.П. Павлова (ИАМ). Институт возглавил академик Ф.Г. Кротков. Авторитет видного гигиениста сыграл большую роль в становлении научных подходов в решении проблем отечественной авиации, в подборе кадров, началу формирования отечественной школы авиационной медицины. Создание самостоятельного института способствовало усилению психофизиологических исследований. Сотрудники активно участвовали в медицинском обеспечении дальних полетов. Поводом для разработки кислородных приборов стали полёты М.Н. Шалимо и С.П. Супруна в которых они столкнулись с гипоксией. В те годы были созданы скафандры: ГВФ, Ч-1 и Ч-3, которые прошли испытания как в барокамере Института авиационной медицины до высоты 16000 м, так и в полете.

В те сложные времена часто сменялось руководство института. В целом, к началу Великой Отечественной войны 1941-1945 года многие теоретические и практические вопросы авиационной медицины были решены, но с началом боевых действий на первый план вышли не проблемы боевой эффективности летного состава, а несогласованность работы госпиталей, в которых не учитывали специфику ранения летчиков, что приводило к направлению раненных летчиков в обычные госпитали сухопутных войск. Так возникла необходимость создания специальных авиационных госпиталей. На базе клинического отдела Института был создан Центральный авиационный госпиталь, а в июле 1943 года Институт авиационной медицины им. академика И.П. Павлова был расформирован. Остальные отделы института в 1943 году преобразованы в лабораторию авиационной медицины при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (ВМедА).

Последствия фактической ликвидации Института авиационной медицины ВВС ощутила на себе авиационная промышленность, перед которой на фоне больших оборонных заказов выпускать авиационную технику, была поставлена задача создания реактивных самолетов - авиации нового поколения. Существующие принципы защиты летного состава на новой технике в полном объеме уже не работали, нужны были новые исследования по обоснованию и созданию защитного снаряжения нового поколения. К сожалению, все попытки по воссозданию Института авиационной медицины ВВС с 1944-1945 года оставались безрезультативными. Авторитет Центрального военно-медицинского управления и ВМедА, добившихся очень больших успехов в решении задач оказания помощи раненым и больным и возвращению их в строй к тому времени существенно вырос, но специалистов, способных проникнуться актуальными проблемами,

увидеть их перспективность не оказалось. Проблема недостатка медицинских кадров для войск и госпиталей доминировала.

В 1947 году был воссоздан Научно-исследовательский испытательный институт авиационной медицины Вооруженных Сил СССР (НИИИАМ) в составе ВВС СССР. Более того, уже в 1948 году на его базе была организована закрытая научная группа, для решения вопросов космической медицины, которую возглавил В.И. Яздовский. Всего через три года были получены уникальные результаты – впервые в мире были осуществлены успешные запуски животных на суборбитальные высоты до 100 км. Коллектив сотрудников получил в 1951 году за это Государственную премию. Еще через 4 года в 1957 был осуществлен триумфальный полет первого спутника Земли, а 3 ноября 1957 года - Лайки в Космос. В 1959 году институт переименовывается в Государственный научно-исследовательский испытательный институт авиационной и космической медицины Вооруженных Сил СССР (ГНИИИ АКМ ВС СССР), а в дополнение к действительному наименованию получил официальное название - войсковая часть 64688. В 1960 году институту была поручена задача отбора и подготовки первого отряда космонавтов. 12 апреля 1961 года Ю.А. Гагарин стал первым космонавтом планеты Земля. Роль Медицинской службы ВВС сохранялась. Большой вклад в развитие авиационной и космической медицины внесли руководители Медицинской службы ВВС генералы медицинской службы А.П. Попов (1955-1959), А.Н. Бабийчук (1959-1974).

Новый статус способствовал росту авторитета и признания ученых института, некоторые из которых заслуженно стали академиками Российской академии наук. Более того научно-практические разработки института тех лет легли в основу целого ряда государственных программ и инновационных направлений профилактической медицины. Это играло особую роль в значимости авиационной и космической медицины, как медицины будущего, ориентированной на эффективность и безопасность деятельности человека в условиях, агрессивность которых постоянно и неуклонно возрастает. Это подтверждает пророческие взгляды и прогнозы К.Э. Циолковского на роль космической медицины, без которой решить проблемы освоения космического пространства невозможно.

Параллельно с космическими программами активно и успешно решались вопросы безопасности и эффективности реактивной авиации, стратосферных полетов, медицинского обеспечения длительных полетов дальней стратегической авиации, разработки средств спасения летчиков методом катапультирования.

В 1963 году было принято решение об образовании Института медико-биологических проблем, которое было реализовано в 1964 году на базе в/ч 64688 путем выделения сил и средств (сотрудников, помещений, оборудования). Функциональными обязанностями Института медико-биологических проблем стали проблемы длительных полетов в Космос. Тесное взаимодействие с в/ч 64688 сохранялось. Но работы по космической тематике в ГосНИИИ АКМ существенно сократились, целевые задачи поменялись. Возникла необходимость решения проблем самолетов 4-го поколения. Это способствовало тому, что проблема деятельности авиационных специалистов наконец стала доминирующей. Более того, возникли новые научные направления психологии труда, инженерной психологии и эргономики, разработка которых востребована на этапах проектирования, создания, испытания и освоения новой авиационной техники. Коллектив института с успехом справился и с этой сложной и важной задачей.

Созданные при участии ГосНИИ АКМ самолеты 4-го поколения не только не уступали, но даже имели преимущества перед зарубежными аналогами. Одним из преимуществ является создание нового научного направления, эргономики, которое состоит в том, что в основе эффективности функционирования сложной человеко-машинной системы находится человек. Эргономика позволяет оптимизировать не только сами процессы и алгоритмы деятельности человека, но и средства и условия ее реализации. Именно от учета возможностей, способностей и ограничений человеческого фактора зависит полнота реализации возможностей техники, а также здоровье самого человека. Успешному развитию нового направления авиационной и космической медицины способствовали руководители медицинской службы ВВС тех лет. Генерал-майор медицинской службы А.Н. Бабийчук (1959-1974), Н.М. Рудный (1974-1988), С.А. Бугров (1988-1991), которые прошли школу ГосНИИИ АКМ.

В 90-е годы в связи с радикальными изменениями в стране и созданием в 1992 году ВВС Российской Федерации роль и значимость ГосНИИИ АКМ ВС РФ претерпела существенные изменения. Однако ранее поставленную задачу создания ЛА 5-го поколения надо было решать. США и страны НАТО сворачивать свои работы в этом направлении не собирались. Из-за сложности проблемы и неоднозначности отличительных критериев сравнительной оценки 5-го поколения, этот период растянулся на десятилетия. Но это не помешало создать самолеты 4+, 4++, которые повысили агрессивность неблагоприятных факторов летного труда, осложнили разработку

нового поколения средств защиты. Решать эти задачи приходилось меньшими силами и в ограниченных финансовых возможностях.

В 1998 году оптимизация авиации и военной науки, проводимая по формальным признакам, привела к снижению статуса ГосНИИИ АКМ до уровня Научно-исследовательского испытательного центра (авиационной и космической медицины и военной эргономики) Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации (НИИЦ (АКМ и ВЭ) ГНИИИ ВМ МО РФ), а главное очередной переход подчиненности от руководства ВВС к Главному военно-медицинскому управлению. Руководители Медицинской службы ВВС тех лет Е.С. Бережнов (1991-1997), П.И. Онищенко (1997-1998), В.В. Лютов (1998-2000), С.И. Ромасюк, (2000-2007) В.В. Яменсков (2007-2012), как и начальники ГосНИИИ АКМ того периода, не смотря на многочисленные попытки, не смогли убедить и отстоять прежний статус института. Психофизиологическая и эргономическая направленность исследований сохранилась. Сегодня НИИЦ (АКМ и ВЭ) – остается головной научно-исследовательской организацией России, занимающейся комплексным изучением проблем человеческого фактора в авиации. Более того, многие методологические подходы, разработанные в институте по вопросам психологического отбора, эргономического сопровождения разработки авиационной техники, обеспечения боеспособности человека, решения вопросов защиты экипажей от экстремальных факторов летного труда, внедрения методик повышения их переносимости и реабилитации функциональных резервов организма после полетов оказались востребованными в военной медицине и постепенно внедряются в жизнь. Медико-психологический прогноз по человеческому фактору в военной авиации свидетельствует о чрезвычайной сложности проблемы. Технические характеристики летательных аппаратов будут неуклонно расти, в то время как психофизиологические возможности человека останутся практически на том же уровне. Актуальность разработки и внедрения медицинских технологий повышается не только в авиации, но и Вооруженных силах в целом.

### **Литература**

1. Сергеев А. А. Очерки по истории авиационной медицины, М.— Л.: Изд-во Акад. наук СССР. [Ленингр. отд-ние], 1962. - 300 с
2. Медицинские проблемы безопасности полетов, пер. с ин., под ред. П. К. Исакова, М.: Военное издательство МО СССР, 1962, 151 с.;

3. Меденков А.А., Дворников М.В. К истории создания научно-исследовательского испытательного санитарного института //Авиакосмическая медицина, психология и эргономика. 2023. – № 4. – С. 18-26.
4. Медицинская служба Военно-Воздушных Сил в годы Великой Отечественной войны. / Под ред. Н.М. Рудного. – М.: Воениздат, 1982. – 215 с.
5. Меденков А.А., Дворников М.В., Меликова М.Б. Направления развития эргономических исследований //Авиакосмическая медицина, психология и эргономика. 2023. – № 1. – С. 41–47.
6. Жданько И. М. Научно-исследовательскому испытательному центру авиационно-космической медицины и военной эргономики 80 лет // Авиапанорама. — 2015. — № 3. — С. 41-47.

УДК 616.858.1

eLIBRARY.RU: 76.29.54

**Сигалева Е.Э.**

**Sigaleva E.E.**

доктор медицинских наук, профессор РАН  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Пасекова О.Б.**

**Pasekova O.B.**

старший научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Сигалева Т.В.**

**Sigaleva T.V.**

научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Иванов К.П.**

**Ivanov K.P.**

младший научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Мацнев Э.И.**

**Matsnev E.I.**

доктор медицинских наук, профессор  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНА СЛУХА ДОБРОВОЛЬЦЕВ В УСЛОВИЯХ 21-СУТОЧНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

### FUNCTIONAL STATE OF THE HEARING ORGAN OF VOLUNTEERS UNDER CONDITIONS OF 21-DAY ANTIORTHOSTATIC HYPOKINESIA

**Аннотация.** В условиях 21-суточной антиортостатической гипокинезии (21АНОГ) проведено экспериментальное исследование функционального состояния органа слуха у 12 здоровых мужчин-добровольцев в возрасте от 24 до 40 лет. Оценка функционального состояния органа слуха проводилась с использованием методов регистрации отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ПАОАЭ) и тимпанометрии. Полученные результаты демонстрируют негативное воздействие условий 21АНОГ на функциональное состояние органа слуха человека.

**Ключевые слова:** функциональное состояние органа слуха, отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения, тимпанометрия, антиортостатическая гипокинезия.

**Abstract.** Under conditions of 21-day antiorthostatic hypokinesia (21ANOH), an experimental study of the functional state of the hearing organ was carried out in 12 healthy male volunteers aged 24 to 40 years. Assessment of the functional state of the hearing organ was carried out using methods of recording the distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) and tympanometry. The results obtained demonstrate the possible negative impact of 21ANOH conditions on the functional state of the human hearing organ.

**Keywords:** functional state of the hearing organ, distortion product otoacoustic emissions, tympanometry, antiorthostatic hypokinesia.

Опыт пилотируемых космических полетов свидетельствует о том, что длительное пребывание человека в условиях невесомости может приводить к функциональным изменениям ряда органов и систем организма человека. [1], [2], [3]. Совершенствование методов медицинского отбора и динамического контроля состояния здоровья космонавтов с учетом перспективы длительных орбитальных и межпланетных космических полетов обуславливает применение современных методов обследования, как в наземных условиях, так и в условиях космического полета. Наземные модельные эксперименты позволяют изучать особенности физиологического состояния

организма человека при воздействии отдельных факторов космического полета и выполнять перспективные научные исследования для усовершенствования методов оценки клинко-физиологического состояния космонавтов. По данным собственных исследований [4], [5], в условиях наземного моделирования эффектов микрогравитации - «сухой» иммерсии различной продолжительности отмечено негативное влияние условий моделируемой микрогравитации на функциональное состояние органа слуха добровольцев, обусловленное эффектом перераспределения жидких сред в краниальном направлении.

Целью настоящего исследования явилась оценка функционального состояния органа слуха человека в условиях эксперимента с 21-суточной антиортостатической гипокинезией (21АНОГ)

### **Материалы и методы**

В исследовании приняли участие 12 здоровых мужчин-добровольцев, в возрасте от 24 до 40 лет, средний возраст -  $29.5 \pm 4.5$  лет (Mean $\pm$ SD), медиана - 27,5 лет. Исследование функционального состояния органа слуха проводилось до и после воздействия 21-суточной антиортостатической гипокинезии, а также на 3-е, 7-е, 14-е, 21-е сутки эксперимента. Исследования включали в себя методы отоскопии, тимпанометрии и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ПИОАЭ). При отоскопии выполняли фотофиксацию данных на камеру. Для тимпанометрии оценивали показатели давления в среднем ухе, даПа и максимального комплианса (эквивалентный объем слухового прохода), мл. Для ПИОАЭ оценивали параметр отношения сигнал/шум отоакустического ответа, дБ, в диапазоне частот от 0,9 до 4,2 кГц. Оценка результатов исследований проводилась отдельно для правого и левого уха.

Статистическая обработка проводилась методом математической статистики с использованием пакета STATISTICA. Использовали непараметрический критерий Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

### **Результаты и обсуждение**

По результатам отоскопии на 21-е сутки эксперимента отмечалось усиление рисунка капиллярного сосудистого русла кожи наружного слухового прохода у 65% добровольцев.

По данным тимпанометрии на протяжении эксперимента (на 3-е, 7-е, 14-е, 21-е сутки) и в периоде последствий (1 сутки периода восстановления) не отмечалось существенных изменений показателей давления в среднем ухе и максимального комплианса (эквивалентного объема слухового прохода), как для правого, так и для левого уха.



Рис. 1 Динамика показателей тимпанометрии (давления в ухе, даПа) в эксперименте с 21 АНОГ.

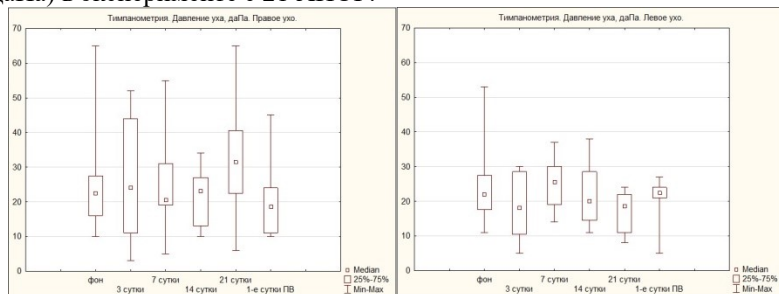
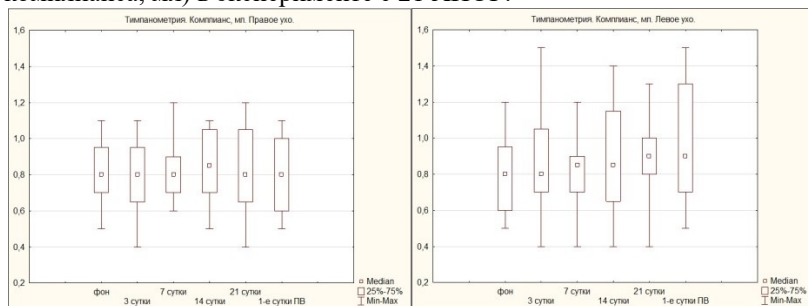
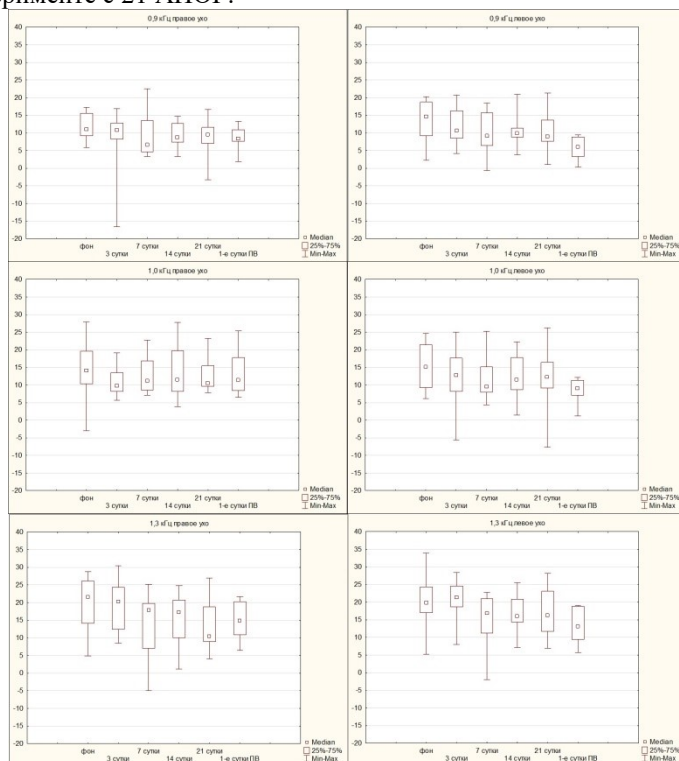


Рис. 2 Динамика показателей тимпанометрии (максимального комплианса, мл) в эксперименте с 21 АНОГ.



При анализе данных ПИОАЭ выявлена тенденция к снижению показателя отношения сигнал/шум отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ПИОАЭ) для частот стимуляции ниже 1,3 кГц для измерений, как для правого, так и для левого уха. На частотах 1,5 кГц, 2,1 кГц и 2,5 кГц отмечалась незначительная динамика параметров ПИОАЭ с тенденцией к снижению отношения сигнал/шум. Для частот стимуляции 3,3 кГц и 4,2 кГц отмечены разнонаправленные изменения показателя сигнал/шум. Достоверно значимых различий показателей тимпанометрии и ПИОАЭ получено не было.

Рис. 3 Динамика показателей ПИОАЭ для частот 0,9-1,3 кГц в эксперименте с 21 АНОГ.



Настоящее исследование продемонстрировало, что в условиях пребывания в 21АНОГ отмечается развитие функциональных нарушений слуховой системы добровольцев. Необходимо проведение дальнейшего изучения состояния органа слуха в условиях АНОГ с участием большого количества добровольцев для получения статистически достоверных данных. Исследование функционального состояния органа слуха в условиях моделируемой микрогравитации необходимо проводить в целях ранней диагностики патологических изменений в слуховой системе человека с учетом перспективы длительных орбитальных и межпланетных космических полетов. Исследование выполнено при финансовой поддержке темы Госзадания FMFR-2024-0039

## Литература

1. Demertzi A., Van Ombergen A., Tomilovskaya E., Jenrissen B., Pechenkova E., Di Perri C., Litvinova L., Amico E., Rumshiskaya A., Rukavishnikov I., Sijbers J., Sinitsyn V., Kozlovskaya I.B., Sunaert S., Parizel P.M., Van de Heyning P.H., Laureys S., Wuyts F.L. Cortical reorganization in an astronaut's brain after long-duration spaceflight. *Brain Structure and function*. 2016. V.221. №5. P. 2873-2876. DOI: 10.1007/s00429-015-1054-3
2. Pechenkova E., Nosikova I., Rumshiskaya A., Litvinova L., Rukavishnikov I., Merzhina E., Sinitsyn V., Van Ombergen A., Jeurissen B., Jillings S., Laureys S., Sijbers J., Grishin A., Chernikova L., Naumov I., Kornilova L., Wuyts F. L., Tomilovskaya E., Kozlovskaya I. B. Alterations of Functional Brain Connectivity After Long-Duration Spaceflight as Revealed by fMRI. *Frontiers in Physiology*. 2019. V.10. P. 761:1-761:23. DOI: 10.3389/fphys.2019.00761
3. Van Ombergen A., Jillings S., Jeurissen B., Tomilovskaya E., Rumshiskaya A., Litvinova L., Nosikova I., Pechenkova E., Rukavishnikov I., Manko O., Danylichev S., Rühl R. Maxine, Kozlovskaya I. B., Sunaert S., Parizel P. M., Sinitsyn V., Laureys S., Sijbers J., zu Eulenburg P., Wuyts F. L. Brain ventricular volume changes induced by long-duration spaceflight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2019. V.116. №21. P. 10531-10536. DOI: 10.1073/pnas.1820354116
4. Пасекова О.Б., Сигалева Е.Э., Марченко Л.Ю., Иванов К.П., Мацнев Э.И., Орлов О.И. Перспектива использования метода регистрации различных классов отоакустической эмиссии для динамической оценки состояния внутричерепного давления // *Сенсорные системы*. 2022. Т.36. № 4. С. 338-348. DOI:10.31857/S0235009222040059
5. Пасекова О.Б., Сигалева Е.Э., Мацнев Э.И., Марченко Л.Ю., Иванов К.П., Сигалева Т.В., Ильин В.К., Морозова Ю.А., Томиловская Е.С. Динамика показателей функционального состояния органа слуха, состава микрофлоры кожной поверхности наружных слуховых проходов и слизистой оболочки верхних дыхательных путей у человека в условиях наземного моделирования эффектов микрогравитации // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2024. Т. 58. № 2. С. 81–89. DOI: 10.21687/0233-528X-2024-58-2-81-89

УДК 613.693, 339.9, 001.83  
eLIBRARY.RU: 89.27.00, 06.51.71

**Куссмауль А.Р.**

**Kussmaul A.R.**

кандидат биологических наук,  
заместитель заведующего отделом –  
старший научный сотрудник

**Белаковский М.С.**

**Belakovskiy M.S.**

кандидат медицинских наук,  
заведующий отделом –  
ведущий научный сотрудник

**Агапцева Т.Н.**

**Agaptseva T.N.**

заместитель заведующего отделом –  
главный специалист  
ГНЦ РФ-ИМБП РАН, г. Москва

## **МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В КОСМИЧЕСКИХ АНАЛОГОВЫХ ПРОЕКТАХ В НОВЫХ РЕАЛИЯХ**

### **INTERNATIONAL COOPERATION IN SPACE ANALOG PROJECTS IN NEW REALITIES**

**Аннотация.** Важным условием пилотируемого освоения космоса является международное сотрудничество. ГНЦ РФ-ИМБП РАН имеет более чем 40-летний опыт проведения крупномасштабных аналоговых проектов в области космической биологии и медицины с участием специалистов и организаций со всего мира. Меняющаяся геополитическая ситуация требует пересмотра и актуализации существующих подходов и путей взаимодействия, открывая, с другой стороны новые возможности и перспективы.

**Ключевые слова:** космическая медицина и биология, аналоговые проекты, международное сотрудничество, изоляционные исследования, страны БРИКС, страны ШОС.

**Abstract.** An important factor in achieving success in human space exploration is international cooperation. IMBP RAS has more than 40 years of experience in conducting large-scale projects in the field of space biology and medicine with the participation of specialists and organizations from all over the world. The changing geopolitical situation requires a review and

updating of existing approaches and ways of cooperation, opening up new opportunities and prospects on the other hand.

**Keywords:** space medicine and biology, analog projects, international cooperation, isolation research, BRICS countries, SCO countries.

Освоение космоса человеком требует объединения усилий большого количества специалистов и организаций. Только кумулятивный эффект от объединения опыта, знаний, технологий может позволить человечеству выйти далеко за пределы земной орбиты. Именно поэтому важным условием пилотируемого освоения космоса является международное сотрудничество. [1, 2, 3].

ГНЦ РФ-ИМБП РАН – признанный мировой лидер в реализации исследований в области космической биологии и медицины – имеет более чем 40-летний опыт сотрудничества в области космической биологии и медицины со специалистами и организациями всего мира, в том числе проведения крупномасштабных аналоговых проектов [3, 4, 5, 6]. Были реализованы международные проекты с участием космических агентств, научных учреждений и других организаций из США, Франции, Германии, Японии, Италии, Канады и ряда других стран – HUBES-94, «ЭКОПСИ-95», SCFINCSS-99, «МАРС-500».

Сегодня институт реализует серию экспериментов SIRIUS (Scientific International Research In Unique terrestrial Station). Проект начинался совместно с Human Research Program NASA.

Меняющаяся геополитическая ситуация требует пересмотра и актуализации существующих подходов и путей взаимодействия. Космические агентства некоторых стран (DLR, ESA, CNES) были вынуждены приостановить совместные проекты, несмотря на желание ученых продолжить уникальные исследования.

С другой стороны, открываются новые возможности и перспективы. Пилотируемый космос принимает новых игроков, в т.ч. страны- участницы БРИКС, страны ШОС, страны СНГ, которые уже накопили достаточный опыт в пилотируемой космонавтике и готовы стать полноправными партнерами в проектах, связанных с реализацией межпланетных полетов.

Безусловно, наибольший опыт в пилотируемой космонавтике среди этих стран накоплен у России и Китая. Однако и другие страны начали успешно развивать свои космические программы, и объединение научных и технологических усилий с ними позволит реализовать амбициозные и перспективные проекты и составить конкуренцию программам, осуществляемым западными странами.

У нашего Института уже есть положительный опыт сотрудничества со странами БРИКС – ОАЭ, Индией, ЮАР. Среди стран – потенциальных новых участников БРИКС – Алжир, Беларусь, Куба, Таиланд и Вьетнам, те страны, с которыми у Института уже были совместные работы или контактные встречи по сотрудничеству в пилотируемых космических программах. Несомненно, что технологический, технический и научный обмен между странами БРИКС, ШОС и СНГ, а, возможно, и создание некоего космического альянса, целью которого станет, например, строительство окололунной станции и лунной базы, станет взаимовыгодным для всех, т.к. существенно расширит возможности участия в космической гонке для стран, делающих первые шаги в этой области, и обогатит новыми знаниями и опытом те страны, которые не являются новичками в пилотируемом освоении космоса.

### **Литература**

1. Жданов В. Л., Антрушина К. Т. Политические аспекты международного сотрудничества в космосе // Управленческое консультирование. – 2022. – № 11. – С. 10–19.
2. Деречин А.Г., Жарова Л.Н., Синявский В.В., Солнцев В.Л., Сорокин И.В. Международное сотрудничество в сфере пилотируемых полетов. Часть 1. Исторический обзор // Космическая техника и технологии. – 2017. – № 1(16). – С.
3. Моруков Б.В., Самарин Г.И., Белаковский М.С. Международное сотрудничество при реализации научных медико-биологических исследований и экспериментов // В кн.: Космическая биология и медицина. Том 2. Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. – М.: Научная книга, 2011. – С. 458–474.
4. Белаковский М.С. Опыт организации международного сотрудничества в области космической медицины и биологии на коммерческой основе // Практика международного бизнеса. – 2003. – №2 (8). – С. 13–17.
5. Гуцин В.И., Vinsted K., Демин Е.П., Комиссарова Д.В., Белаковский М.С. Опыт и перспективы модельных изоляционных экспериментов в России и США // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т.50. – №5 спецвыпуск. – С. 61-63.
6. Куссмауль А.Р. Международная кооперация в изоляционных исследованиях // Информационно-технологический вестник. – 2020. – № 2 (24). – С. 26-35.

УДК 57.045+612.15  
eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Макарчев А.И.**

**Makarchev A.I.**

младший научный сотрудник

**Гимадиев Р.Р.**

**Gimadiev R.R.**

младший научный сотрудник

**Воробьева А.В.**

**Vorobyova A.V.**

младший научный сотрудник

**Гордиенко К.В.**

**Gordienko K.V.**

научный сотрудник

**Васильева Г.Ю.**

**Vassilieva G.Yu.**

кандидат медицинских наук,

ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией

ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**БИОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ АЗОТИСТОГО И ВОДНО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО  
ОБМЕНА В МОЧЕ ЖЕНЩИН-УЧАСТНИЦ 5-СУТОЧНОЙ  
«СУХОЙ» ИММЕРСИИ (ЭКСПЕРИМЕНТ «IMMERSION-5F-LF»)**

**BIOCHEMICAL STUDY OF THE DYNAMICS OF NITROGEN AND  
WATER-ELECTROLYTE METABOLISM IN THE URINE OF  
WOMEN PARTICIPATING IN 5-DAY "DRY" IMMERSION  
(«IMMERSION-5F-LF» EXPERIMENT)**

**Аннотация.** У женщин репродуктивного возраста, находившихся в течение пяти суток в условиях «сухой» иммерсии, моделирующей действие микрогравитации на организм человека, впервые проведено исследование биохимических показателей мочи на фоне приёма биоаналога лактоферрина человека (чЛФ) во время и после окончания воздействия.

**Ключевые слова:** «сухая» иммерсия, факторы космического полёта, почки, водно-электролитный обмен, биохимический анализ мочи.

**Abstract.** In women of reproductive age, who were for five days in conditions of "dry" immersion, simulating the effect of microgravity on the

human body, for the first time, a study of biochemical parameters of urine was carried out against the background of taking a biosimilar of human lactoferrin (hLF) during and after the end of exposure.

**Keywords:** “dry” immersion, space flight factors, kidneys, water-electrolyte metabolism, urine sediment microscopy.

Системное изучение физиологии почки, водно-электролитного и минерального обмена при действии факторов космического полёта (КП) было начато в 60-е годы прошлого века [1]. Накопленный фактический материал позволил дать оценку происходящим в КП функциональным изменениям в системе регуляции водно-электролитного и минерального обмена. Однако, до настоящего времени остаётся актуальной проблема поиска средств профилактики нарушений метаболизма кальция, приводящих к снижению минеральной плотности костной ткани, длительной кальциурии с одновременным нарушением обмена фосфора и возможному развитию уролитиаза при продолжительных КП [2].

Одним из таких профилактических средств может стать длительный приём белка лактоферрина, который по данным ряда авторов оказывает опосредованное влияние на лиганд-рецепторную систему RANK/RANKL/OPG [3].

Учитывая, что количество исследований, посвященных влиянию микрогравитации на организм женщин ничтожно мало, был разработан и проведён эксперимент «Исследование применения лактоферрина как средства профилактики ряда негативных последствий двигательной разгрузки (5-суточная «сухая» иммерсия) на состояние физиологических систем и микрофлоры женщин репродуктивного возраста» (шифр «Immersion-5F-LF»), моделирующий острый период адаптации организма женщин к условиям гравитационной разгрузки. Одной из задач которого стало исследование биохимических показателей в моче испытуемых на разных этапах экспериментального воздействия.

### **Материалы и методы**

В эксперименте «Immersion-5F-LF» приняли участие 23 здоровые женщины репродуктивного возраста с естественным менструальным циклом. Участницы были разделены на три группы: плацебо (I группа, n=7, возраст 30±6,6 лет; рост 167±5,2 см; вес 71±13,1 кг), чЛФ 200 мг/сут (II группа, n=9; 27±2,5 лет; 168±7,8 см; 61±9,2 кг) и чЛФ 400 мг/сут (III группа, n=7; 30±6,4 лет; 167±7,7 см; 62±9,5 кг). Прием чЛФ начинался в первые сутки «сухой» иммерсии (СИ) и продолжался до 30 суток периода восстановления. Сбор разовой (первая утренняя



порция) и суточной мочи проводили до начала СИ (СИ-1), на первые и пятые сутки СИ (СИ1 и СИ5), на 6 и 29 сутки восстановления (СИ+6 и СИ+29). Для обеспечения мочеиспускания и сбора мочи обследуемые применяли портативное устройство для механического отведения мочи [4]. Процедура мочеиспускания проходила непосредственно в ванне «сухой» иммерсии. Дежурная бригада приносила индивидуальный прибор обследуемой и выключала камеры наблюдения, затем удалялась. После окончания мочеиспускания прибор забирали и промывали водой, а мочу переливали в ёмкости для дальнейшего учёта диуреза и анализа биологического материала.

Общий анализ мочи был выполнен с использованием тест-полосок Multistix 10 SG на анализаторе Clinitek Status Plus (Siemens, США).

Лабораторные показатели: креатинин, мочевины, мочевая кислота, магний, фосфор, кальций, глюкоза были выполнены из замороженных образцов на модульной системе Cobas-6000 (Cobas 501, Roche, Германия).

Обработка массива первичных данных проведена с помощью программного обеспечения SPSS Statistics 27.0 (IBM, США).

### **Результаты**

Показано, что исследуемые в моче показатели не выходили за пределы нормальных значений весь период наблюдений. Наиболее выраженная динамика параметров отмечена в I группе: статистически значимые изменения концентрации мочевины (в 1,96 раз выше,  $p < 0.05$ ), уровней кальция (в 1,83 раз выше,  $p < 0.05$ ) и фосфора (в 1,94 раз выше,  $p < 0.05$ ) выявлены между СИ+6 и СИ+29. Уровень фосфора также значимо отличался от фоновых значений к моменту окончания наблюдений на СИ+29 (в 2,14 раз выше,  $p < 0.05$ ). Во II группе изменения концентрации мочевины статистически значимы между СИ-1 и СИ1 (в 1,96 раз выше,  $p < 0.05$ ), а кальция между СИ1 и СИ+6 (в 1,72 раз выше,  $p < 0.05$ ). В группе III содержание кальция достоверно различалось между сутками СИ-1 и СИ1 (в 1,79 раз выше,  $p < 0.05$ ). При этом в обеих группах, принимавших чЛФ, статистический анализ показал достоверное снижение концентрации мочевой кислоты: во II группе статистически значимые отличия между сутками СИ1 и СИ5, СИ+6 и СИ+29 (в 0,95, 0,64 и 0,61 раз ниже,  $p < 0.05$ ); в III группе между СИ5 и СИ+29 (в 0,64 раз ниже,  $p < 0.05$ ).

Выявленная динамика исследуемых показателей в разных группах, может говорить о потенциальном влиянии длительного приёма чЛФ в острый период адаптации и после СИ на состояние белкового и фосфорно-кальциевого обмена. Продолжение исследований и детальное рассмотрение совокупности полученных данных, включая

микроскопию осадка мочи, позволит дать оценку профилактического потенциала применения чЛФ у космонавтов.

### **Литература**

1. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Наточин Ю.В. Водно-солевой гомеостаз и космический полет // Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1986. 240 с.
2. Siew, K., Nestler, K.A., Nelson, C. et al. Cosmic kidney disease: an integrated pan-omic, physiological and morphological study into spaceflight-induced renal dysfunction. *Nat Commun* 15, 4923 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49212-1>
3. Cao X, Ren Y, Lu Q, Wang K, Wu Y, Wang Y, Zhang Y, Cui XS, Yang Z, Chen Z. Lactoferrin: A glycoprotein that plays an active role in human health. *Front Nutr.* 2023 Jan 5;9:1018336. doi: 10.3389/fnut.2022.1018336. PMID: 36712548; PMCID: PMC9875800.
4. Лебедева С.А., Комаров Н.С. Портативное устройство для механического отведения мочи у женщин в условиях моделируемого космического полёта // В книге: XLVII Гагаринские чтения 2021. Сборник тезисов работ XLVII Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2021. С. 692-693.

Авторы благодарят генерального директора ООО «ЕвроТест» Тюрина И.А. за ценные советы и методическую помощь при анализе биоматериалов.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

УДК: 159.9:629.7, 629.78.07:159.9  
eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Суполкина Н.С.**

**Supolkina N.S.**

кандидат биологических наук  
младший научный сотрудник

**Юсупова А.К.**

**Yusupova A.K.**

кандидат психологических наук  
ведущий научный сотрудник

**Швед Д.М.**

**Shved D.M.**

кандидат медицинских наук

## ОСОБЕННОСТИ КОММУНИКАТИВНОЙ СИСТЕМЫ «ЭКИПАЖ-ЦУП»

### PECULIARITY OF THE CREW-MCC COMMUNICATION SYSTEM

**Аннотация.** В космическом эксперименте «Контент» проводилось изучение коммуникации космических экипажей с Центром управления полетами (ЦУП) методом контент-анализа. В результате эксперимента были выделены три основных поведенческо-коммуникативных стиля космонавта, каждый из которых позволяет космонавту успешно справиться с решением текущих рабочих задач и, вместе с тем, требует специфической ответной коммуникации.

**Ключевые слова:** общение экипажа и ЦУП, контент-анализ, коммуникативные стили, эффективность коммуникации, космический эксперимент.

**Abstract.** “Content” space experiment was focused on study of space crews communication with the Mission control center (MCC) using the content analysis method. Three main behavioral and communicative styles of the cosmonaut were identified, each one allows the cosmonaut to successfully cope with current work tasks and, at the same time, requires specific communication in response.

**Keywords:** crew communication, content analysis, communication styles, communication effectiveness, space experiment.

Главная функция ежедневного общения экипажа и ЦУП – информирование внешних абонентов о текущей рабочей ситуации на борту станции и получение рекомендаций по выполнению задач полётной программы и разрешению проблемных ситуаций [1].

В любом замкнутом контуре общения можно выделить коммуникативно-поведенческие стили, выраженность которых в общении усиливается под действием стресс-факторов:

- блейминг (обвинительный – подразумевает активное отстаивание своей позиции, выход на конфронтацию, перенос ответственности за проблемы на собеседника);
- плакатинг (задабривающий, заискивающий – выражает более низкий уровень уверенности, потребность в оценке со стороны собеседника, стремление налаживать контакт);

– компьютеринг (отличается низкой эмоциональностью, склонностью к рассудительности и логике, общение направлено на обмен информацией) [2-3].

### **Материалы и методы**

В рамках космического эксперимента «Контент» для анализа переговоров космонавтов применялся метод контент-анализа (метод сведения массива текста в ограниченное количество категорий с помощью внешних, заранее заданных и обоснованных правил кодирования).

Система категорий контент-анализа была разработана с учетом специфики ситуации на борту, и содержит категории, позволяющие фиксировать признаки психоэмоционального напряжения [4].

Выборка обследуемых (n = 15) – российские космонавты-мужчины, принимавшие участие в миссиях МКС 43/44–54/55.

Объем проанализированного материала - 164 658 высказываний космонавтов из неконфиденциальных каналов связи [4-5].

### **Результаты и обсуждение**

Психологи, не участвовавшие в КЭ «Контент», провели независимую оценку и сформировали три группы испытуемых: 8 космонавтов, согласно экспертной оценке, наиболее часто использовали стиль компьютеринг, 4 – преимущественно блейминг и 3 – плакатинг.

Сравнение содержания общения испытуемых из этих групп с помощью Н-теста Краскела – Уоллиса, обнаружило существенные различия в выборе предпочтительных стратегий совладания со стрессом у космонавтов, использующих коммуникативные стили плакатинг и компьютеринг.

У обследуемых с доминированием плакатинга обнаружено наибольшее число высказываний в категориях *«Избегание ответственности»*, *«Подчинение»*; демонстрация *«Доверия»* к ЦУП.

Блеймеры характеризовались самыми высокими средними значениями копинг-стратегий *«Конфронтация»*, *«Юмор»* (*сарказм*), *«Самоконтроль»*, связанной с аффективной функцией общения. Соответственно, наиболее низкие средние значения высказываний данной категории были обнаружены в группе представителей стиля компьютеринг. Также, у блеймеров было в 4 раза больше, чем в группах компьютеров и плакатеров, утверждений, содержащих отрицательные эмоции.

Космонавты с преобладанием стиля компьютеринг редко демонстрировали в своем речевом поведении копинг-стратегии, отражающие функцию социальной регуляции: *Подчинение*, *Избегание*

*ответственности, и Претензии/жалобы*; также редко использовали стратегии, связанные с аффективной функцией общения (у них выявлено в 5 раз меньше высказываний по категориям *Самоконтроль* и *Юмор*, чем у блеймеров и плакатеров) [5].

Вместе с тем, все космонавты в течение изученных экспедиций успешно решали рабочие вопросы, используя ресурсы своего коммуникативного стиля. Например, плакатеры - за счет постоянного обращения к наземным службам за информацией различного характера и точного следования их рекомендациям; блеймеры – за счёт упорства в регулярном решении не только острых, но и хронических рабочих проблем; компьютеры – за счёт максимально точного следования полётной программе и документации.

В числе следующих шагов развития методики – автоматизация подсчёта категорий в тексте, разработка системы рекомендаций для операторов ЦУП, определение критериев отбора сбалансированного по стилистическим и ценностным параметрам экипажа.

*Обзор и первичная обработка данных выполнена в рамках Программы Фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0034. Анализ данных при финансировании Госкорпорации «Роскосмос».*

### **Литература**

1. Мясников В.И., Замалетдинов И.С. Психическое состояние и групповое взаимодействие космонавтов в полете // Косм. биология и медицина. 1997. Т. 3. С. 246.
2. Satir V. Peoplemaking. 1972.
3. Satir V. Making contact. 1976.
4. Shved D, Supolkina N, Yusupova A. The Communicative Behavior of Russian Cosmonauts: “Content” Space Experiment Result Generalization. Aerospace. 2024; 11(2):136.
5. Гушин В.И., Суполкина Н.С., Швед Д.М., Юсупова А.К., Чекалина А.И., Котов О.В. Применение контент-анализа для исследования общения космонавтов со специалистами ЦУП при различном уровне полетной нагрузки. Авиакосмическая и экологическая медицина // 2022. Т. 56, № 3. С.12-18;

УДК 612.821  
eLIBRARY.RU: 19.00.03; 89.00.00

**Поляниченко А.А.**

**Polyanichenko A.A.**

младший научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Суполкина Н.С.**

**Supolkina N.S.**

кандидат биологических наук  
научный сотрудник  
ГНЦ РФ ИМБП РАН г. Москва

**Рюмин О.О.**

**Rumin O.O.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник – зав.лабораторией  
ГНЦ РФ ИМБП РАН г. Москва

**Савенко О.А.**

**Savenko O.A.**

зав.лабораторией  
ГНЦ РФ ИМБП РАН г. Москва

## **ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ КОММУНИКАТИВНО- ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ СФЕРЫ КОСМОНАВТА ВО ВРЕМЯ ПОЛЁТА**

### **ASSESSMENT OF ASTRONAUT'S COMMUNICATION- BEHAVIORAL SPHERES DURING THE MISSION**

**Аннотация.** С увеличением продолжительности пребывания человека в космосе, включая программу перспективных пилотируемых миссий, в системе медико-психологического обеспечения полетов ещё более актуальным становится решение вопроса мониторинга психологического состояния человека.

**Ключевые слова:** деятельность космонавта, радиопереговоры, планирование работ, коммуникативно-поведенческая сфера.

**Abstract.** With the increasing duration of human stay in space, including the program of prospective manned missions, in the system of medical-psychological support of flights, the solution of the issue of monitoring the psychological state of a person becomes even more urgent.

**Keywords:** astronaut activity, radio conversations, work planning, communicative-behavioral sphere.

Оценка состояния особенностей коммуникативно-поведенческой сферы входит составной частью в медицинский контроль, осуществляемый группой медицинского обеспечения ЦУП-М. От степени устойчивости коммуникативно-поведенческой сферы зависят как своевременное выполнение суточных программ, так и эффективная работа на сложных участках полета, наиболее ответственными из которых являются внекорабельная деятельность (ВКД), перестыковка, а также выполнение работ в измененных условиях биоритма «сон - бодрствование». Периоды подготовки к ним и восстановления предъявляют повышенные требования к нервно-психической сфере. Для этих периодов бывают характерными повышенная эмоциональная напряженность, сверхмотивация, явления утомления, повышенный уровень ответственности, что также отражается на протекании психических процессов.

Анализ радиопереговоров, характер допущенных неточностей в работе и сдвиг режимов труда и отдыха (РТО), замечания и предложения самих членов экипажей позволяют сформулировать практические рекомендации, которые направлены на оптимизацию трудовой деятельности экипажа:

#### 1. Взаимодействие наземных служб (НС) и экипажа:

- 1) максимальная корректность и «демонстрация» понимания позиции членов экипажа, т.е. позиция «мы вместе»;
- 2) этот период не время для прямого директивного «нажима», т.е. максимально стараться не прибегать к «силовому» нажиму, так как это на бессознательном уровне может привести к внутреннему противодействию;
- 3) НС должны проявить достаточную тактическую гибкость, умение направить разговор в нужное (рабочее) русло для достижения максимальной эффективности в работе;
- 4) использование в качестве эмоциональной «разрядки» в ситуации напряжения, усталости, элементов юмора, смены темы разговора, пауз в разговоре, использование «правил» повторения утверждений собеседника, «тонирования» речевых высказываний;
- 5) поощрять разумную инициативность и новаторство членов экипажа, что благотворно влияет на поддержание позитивного фона настроения, стабильность самооценки и уровня мотивации.

#### 2. Планирование работ:

- 1) в период подготовки к ВКД или к перестыковке в течение предыдущих дней целесообразно планировать операции только непосредственно по предстоящей деятельности и по необходимым

текущим работам, особенно для экипажей, проводящих эти операции в космосе впервые, что позволит экипажу максимально сконцентрироваться и повысить эффективность их подготовки и проведения;

2) планирование работ не проводить «стык в стык», оставляя некоторое резервное время, т.е. не создавать искусственного дефицита времени, учитывая, что скорость и точность протекания психических процессов как в условиях повышенной эмоциональной напряженности, так и при утомлении может снижаться;

3) по имеющимся данным, после напряженной работы в измененном режиме «сон-бодрствование» на следующие сутки наблюдается кратковременное снижение показателей оперативной памяти и внимания. При необходимости выполнить кратковременные (2-3 мин) вводные операции целесообразно просить выполнить их сразу и доложить об исполнении, а не просить выполнить в освободившееся время, чтобы не загружать дополнительной информацией мнестические функции;

4) при составлении радиogramм стремиться к максимальной лаконичности, точности и последовательности. Следить за тем, чтобы не было расхождений в тексте радиogramм и бортдокументации, и, если есть изменения, заранее выработать для экипажа четкий алгоритм действия;

5) стараться избегать ситуаций типа «Вы подумайте, как лучше...» и свести операции к максимально «однолинейному» алгоритму действия, т.е. избегать выполнения разноплановых операций одновременно;

6) проводить достаточное количество тренировок в процессе подготовки, доводя в ряде случаев до автоматизма, так как в стрессовых ситуациях и при утомлении страдают вновь приобретенные навыки, высшие психические функции;

7) при планировании учитывать индивидуально-психологические особенности членов экипажа, т.е. на практике осуществлять принцип личностного подхода в деятельности, что позволяет более точно соблюдать режим суточного планирования и избегать нарушений РТО.



УДК 629.78

eLIBRARY.RU: 89.00.00, 76.00.00

**Сенчилов М.О.**

**Senchilov M.O.**

аспирант

ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Манько О.М.**

**Manko O.M.**

доктор медицинских наук

ведущий научный сотрудник

ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Васильева Г.Ю.**

**Vassilieva G.Yu.**

кандидат медицинских наук

заведующий лабораторией

ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**Орлов О.И.**

**Orlov O.I.**

академик РАН

доктор медицинских наук

директор

ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва

**ИЗУЧЕНИЕ СЛЁЗНОЙ ЖИДКОСТИ КАК БИОМАРКЕРА  
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА  
К МИКРОГРАВИТАЦИИ**

**THE STUDY OF LACRIMAL FLUID AS A BIOMARKER OF  
FUNCTIONAL ADAPTATION OF THE BODY TO  
MICROGRAVITY**

**Аннотация** Известно, что микрогравитация оказывает существенное влияние на водный гомеостаз. В условиях микрогравитации и ее моделирования активируется кардио-ренальный рефлекс Генри-Гауэра, приводящий к развитию компенсаторного отрицательного водного баланса. В результате чего формируются специфические сдвиги электролитного баланса сыворотки крови. Изучение биохимического состава слезной жидкости как возможного биомаркера адаптации водно-солевого обмена организма к действию микрогравитации впервые планируется провести в ходе модельных экспериментов, до и после космического полета.

**Ключевые слова:** слёзная жидкость, биохимия слезы, кардиоренальный рефлекс Генри-Гауэра, отрицательный водный баланс, микрогравитация.

**Abstract** Microgravity is known to have a significant effect on aquatic homeostasis. In microgravity and its simulation, the Henry-Gower cardiorenal reflex is activated, leading to the development of a compensatory negative water balance. As a result, specific shifts in the electrolyte balance of blood serum are formed. The study of the biochemical composition of lacrimal fluid as a possible biomarker of adaptation of the body's water-salt metabolism to the action of microgravity is planned for the first time during model experiments, before and after space flight.

**Key words:** lacrimal fluid, biochemistry of tears, Henry-Gower cardiorenal reflex, negative water balance, microgravity.

Известно, что в течение длительного космического полёта происходят адаптационные изменения организма к действию невесомости. Благодаря рефлекторным реакциям центральной нервной системы и эндокринной системы формируется новый объемный и водно-электролитный сосудистый гомеостаз [2]. Происходит адаптационное снижение внеклеточной жидкости в организме в условиях невесомости, что связано с изменениями электролитного состава плазмы крови, осмотически активных веществ, гормонов водно-солевого обмена [3]. Повышение эффективности мониторинга за процессом адаптации организма является комплексной проблемой, связанной как с модернизацией диагностических процедур, так и с минимизацией ошибок и облегчением интерпретации полученных данных. [1].

Перспективным направлением в решении поставленного вопроса является разработка и внедрение скрининговых тест-систем, обладающих высокой чувствительностью и широким спектром применения. В условиях космического полёта важнейшим фактором является выбор наиболее доступного для забора биоматериала, характеризующегося применимым для дальнейшей оценки составом. Слёзная жидкость, содержащая в норме широкий спектр высокоспецифичных белков, коррелирующих с их концентрацией в плазме крови. При определенных нейродегенеративных, воспалительных общих заболеваниях доказано, что слезная жидкость является биомаркером, характеризующим их течение и прогноз. [5].

**Целью** исследования являлось изучение диагностического потенциала биохимического статуса слёзной жидкости человека как биомаркера адаптации организма к микрогравитации для

усовершенствования профилактических и диагностических методов медицинского контроля космонавтов.

В рамках работы для создания условий моделируемой невесомости рассматриваемой экспериментальной моделью является «сухая» иммерсия, способствующая развитию сопоставимых с истинной невесомостью изменений кислотно-основного состояния и гемодинамических параметров.

### **Заключение**

Ожидаемым результатом является высокая прямая корреляция значений биохимических параметров слезы, морфофункционального состояния глаза, биомаркеров гиповолемии сыворотки крови в условиях развития компенсаторного отрицательного водного баланса организма.

Работа выполнена в рамках научной теме НИР FVFR-2024-0034 (1023022700092-0-3.1.4;3.1.9;5.1.1).

### **Литература**

1. Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов // Медицина экстремальных ситуаций. 2017. № 1(59). С. 43 – 64.
2. Газенко О.Г., Наточин Ю.В., Григорьев А.И. Водно-солевой гомеостаз и космический полет. // Проблемы космической биологии / ред. А.М. Уголев и В.Л. Свидерский / Т. 54. – 1986. М.: Наука. 240 с.
3. Моруков Б.В., Носков В.Б., Ларина И.М., Наточин Ю.В. Водно-солевой обмен и функция почек в космических полетах и наземных модельных экспериментах // Российский физиологический журнал им И.М. Сеченова 2003. Т. 89. №3. С. 356-374.
4. Валях М.А., Баева Н.Г. Изменения зрительного анализатора, происходящие в результате космического полета // РМЖ «Клиническая офтальмология». 2019. Т. 19. № 1. С. 27 – 30.
5. Zhan, X., Li, J., Guo, Y. et al. Mass spectrometry analysis of human tear fluid biomarkers specific for ocular and systemic diseases in the context of 3P medicine // EPMA Journal. 2021. № 12, p. 449–475
6. Bron AJ, Tomlinson A, Foulks GN, Pepose JS, Baudouin C, Geerling G, et al. Rethinking dry eye disease: a perspective on clinical implications // Ocul Surf. 2014. № 12, p. S1-31.
7. Hagan, S., Martin, E. & Enríquez-de-Salamanca, A. Tear fluid biomarkers in ocular and systemic disease: potential use for predictive, preventive and personalised medicine // EPMA Journal. 2016. № 7, p. 15

**Кузичкин Д.С.**

**Kuzichkin D.S.**

кандидат биологических наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Журавлева О.А.**

**Zhuravleva O.A.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Ничипорук И.А.**

**Nichiporuk I.A.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Маркин А.А.**

**Markin A.A.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник, зав. лаб.  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Журавлева Т.В.**

**Zhuravleva T.V.**

кандидат психологических наук  
старший научный сотрудник, г. Москва

**Серова А.В.**

**Serova A.V.**

младший научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Логинов В.И.**

**Loginov V.I.**

ведущий научный сотрудник-кардиолог  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

# МАРКЕРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У КОСМОНАВТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА

## CARDIOVASCULAR DISEASES RISK MARKERS IN COSMONAUTS EXPOSED TO SPACE FLIGHT FACTORS

**Аннотация.** У 15 космонавтов после полетов длительностью от 115 до 205 суток исследовали показатели липидного профиля и маркеры повреждения эндотелия. Обнаружены признаки повреждения эндотелия и повышения уровня липолиза после полетов, что может являться индикатором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний.

**Ключевые слова:** фактор Виллебранда, липидный обмен, сосудистый эндотелий, космические полеты.

**Abstract.** Lipid profile parameters and markers of endothelial damage were studied in 15 cosmonauts after flights lasting from 115 to 205 days. Signs of endothelial damage and increased lipolysis levels after flights were found, which may be an indicator of cardiovascular diseases progress increased risk.

**Keywords:** Willebrand factor, lipid metabolism, vascular endothelium, space flights.

Эндотелиальная дисфункция, повреждение сосудистого эндотелия, тромботические события, нарушение липидного обмена рассматриваются как ранние маркеры развития артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, хронической почечной и печеночной недостаточности, атеросклероза и повышенного риска сердечно-сосудистых заболеваний [1, 2, 3]. Недавно впервые был установлен случай окклюзионного тромбоза внутренней яремной вены в ходе экспедиции на МКС [4]. Известно, что одним из специфичных маркеров повреждения эндотелия является фактор Виллебранда (ФВ) [5]. Изменение показателей липидного профиля (холестерин, фосфолипиды, ХС ЛПНП) также является патогенетическим фактором деструкции эндотелия и повышения его проницаемости [3]. В то же время повышенный уровень неэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК) служит независимым предиктором риска гипертензии [6], а снижение содержания фосфолипидов приводит к активации атерогенеза[7].

Цель работы – изучение маркеров повреждения эндотелия и показателей липидного обмена как потенциальных предикторов

развития атеросклероза и других сердечно-сосудистых заболеваний при воздействии факторов космического полета.

Обследовали 15 космонавтов мужского пола в возрасте 37 - 60 лет, совершивших орбитальные полеты длительностью от 115 до 205 суток. Венозную кровь отбирали за 30-45 суток до старта, на 1-е и 7-е сутки периода восстановления. Концентрацию ФВ в цитратной плазме определяли иммуноферментным методом. Концентрацию НЭЖК, фосфолипидов, триглицеридов, холестерина и его фракций (ЛПВП, ЛПНП, ЛПОНП) определяли в сыворотке крови колориметрическими и иммунотурбидиметрическими методами. Статистическую обработку данных проводили с помощью критерия Уилкоксона.

На первые сутки после приземления уровень ФВ был повышен на 39%, на седьмые - на 35%. Наблюдалось также незначительное снижение уровня фосфолипидов на 5% и повышение уровня НЭЖК на 51% в первые сутки после полета.

Таким образом, наблюдаемые изменения отражают наличие повреждения эндотелия при воздействии факторов космического полета и могут являться индикаторами риска развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Работа выполнена в рамках темы РАН FMFR-2024-0039.

### **Литература**

1. Аксенова А.Ю. Фактор Фон Виллебранда и повреждение эндотелия: возможная связь с COVID-19. // Экологическая генетика. – 2020. – Т. 18.– № 2. – С.135-138.
2. Lillicrap D. Disseminated intravascular coagulation in patients with 2019-nCoV pneumonia // J ThrombHaemost. –2020. – V. 18, No.4. – P. 786–787.
3. Гребенчиков О. А., Долгих В. Т., Прокофьев М. Д. Эндотелиальная дисфункция как важнейший патогенетический фактор развития критического состояния. // Вестник СурГУ. Медицина. –2021. –Т49. – №3. –С 51-60.
4. Marshall-Goebel, K. et al. Assessment of jugular venous blood flow stasis and thrombosis during spaceflight. // JAMA Netw. Open. –2019. – V.2, – N.11. –e1915011.
5. Okhota, S., Melnikov, I., Avtaeva, Y., et al. Shear stress-induced activation of von Willebrand factor and cardiovascular pathology. Int. J. Mol. Sci. – 2020. – V.21. – P. 7804.
6. Цветкова М.В. Роль неэтерифицированных жирных кислот в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний. // Артериальная гипертензия. –2010. –Т16. –№1. –С.93-103.

7. Мусаев А.Т., и др. Изменения фосфолипидного спектра клеточных мембран при кардиоваскулярных заболеваниях// Вестник КазНМУ. – 2019. –№4. –С.55-61.

УДК:57.049

eLIBRARY.RU: 34.51.15

**Лукичёва Н.А.**

**Lukicheva N.A.**

младший научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Гордиенко К.В.**

**Gordienko K.V.**

научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Васильева Г.Ю.**

**Vassilieva G.Yu.**

кандидат медицинских наук,  
ведущий научный сотрудник, зав. лаб.  
ГНЦ РФ-ИМБП РАН, г. Москва

## **РЕГУЛЯТОРЫ КАЛЬЦИЙ-ФОСФОРНОГО ОБМЕНА В КРОВИ КРЫС ПОСЛЕ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ**

### **REGULATORS OF CALCIUM-PHOSPHATE METABOLISM IN RATS' BLOOD AFTER HINDLIMB UNLOADING**

**Аннотация.** В работе представлены результаты анализа содержания регуляторов кальций-фосфорного обмена у крыс после антиортостатического вывешивания с дополнительными воздействиями. Выявлены межгрупповые различия, свидетельствующие о потенциальном изменении абсорбции фосфатов в эксперименте с применением витамина D<sub>3</sub> при длительной опорной разгрузке.

**Ключевые слова:** антиортостатическое вывешивание, кальцитриол, ПТГ, FGF23, холекальциферол, лактоферрин.

**Abstract.** The paper presents the results of an analysis of the content of calcium-phosphorus metabolism regulators in rats after hindlimb unloading with additional influences. Intergroup differences were identified, indicating a potential deterioration in phosphate absorption, in an experiment with the use of vitamin D<sub>3</sub> during long-term support unloading.

**Keywords:** hindlimb unloading, calcitriol, PTH, FGF23, cholecalciferol, lactoferrin.

Целью данной работы была оценка влияния антиортоостатического вывешивания (АВ) на содержание регуляторов кальций-фосфорного обмена (паратиреоидного гормона (ПТГ), кальцитриола ( $1,25(\text{OH})_2\text{D}$ ) и фактора роста фибробластов 23 (FGF23) в сыворотке крыс с учетом продолжительности, реадaptации после АВ и приема пищевых добавок.

### **Материалы и методы**

В работе использовались образцы крови (сыворотка), полученные у самцов крыс линии Wistarv трех экспериментах:

Эксперимент № 1: АВ в течение 7 и 21 суток (4 группы, n=31);

Эксперимент № 2: АВ в течение 7 и 21 суток с применением витамина D<sub>3</sub> (20 МЕ/кг ежедневно) (8 групп, n=64);

Эксперимент № 3: АВ в течение 21 суток и последующая реадaptация - 21 сутки с применением лактоферрина (ЛФ) (100мкг/кг ежедневно) (6 групп, n=48).

АВ проводилось по методу Новикова-Ильина в модификации Морей-Холтон [1,2]. Эксперименты были одобрены Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ-ИМБП РАН (протоколы: № 529 от 12.11.2019 г., № 568 от 23.12.2020 г., № 603 от 25.10.21 г.).

Концентрацию ПТГ и FGF23 в экспериментах №1 и №2 определяли проточным мультиплексным иммуноанализом с использованием панели MILLIPLEX MAP RatBonePanel 1 (Merck Millipore, Германия). Содержание  $1,25(\text{OH})_2\text{D}$  во всех экспериментах, ПТГ и FGF23 в эксперименте №3 определяли методом ИФА (Cloud-Clone Corp., США).

Анализ данных был выполнен в программном обеспечении Prism 8. Для попарных сравнений использовался критерий Манна-Уитни и поправки для множественных сравнений Бенджамини-Хохберга при  $\alpha=0,05$ .

### **Результаты и обсуждение**

Показано, что АВ разной длительности без применения профилактических средств и АВ с применением ЛФ не оказало влияния на исследуемые показатели.

В эксперименте №2 у животных из группы виварного контроля после 7-дневного приема вит. D<sub>3</sub> содержание  $1,25(\text{OH})_2\text{D}$  в крови было выше, чем у животных, получавших плацебо ( $p=0,0364$ ). Значимых отличий содержания  $1,25(\text{OH})_2\text{D}$  и ПТГ между группами с 7- и 21-суточным АВ не было выявлено. Но анализ содержания FGF23 в крови



показал достоверные различия (рис.1). FGF23 – фосфатурический гормон, повышение уровня которого имеет важное прогностическое значение в клинических ситуациях и ассоциировано с развитием кальциноза и атеросклероза сосудов, фиброзом миокарда и почечной паренхимы [3]. Можно предположить, что повышение концентрации FGF23 в группах АВ и К без приёма вит. D<sub>3</sub> может быть ответом организма на гиперфосфатемию, которая может быть вызвана влиянием опорной разгрузки на высвобождение фосфатов из костной ткани [4]. Данное предположение должно быть подтверждено дополнительными методами исследования кости.

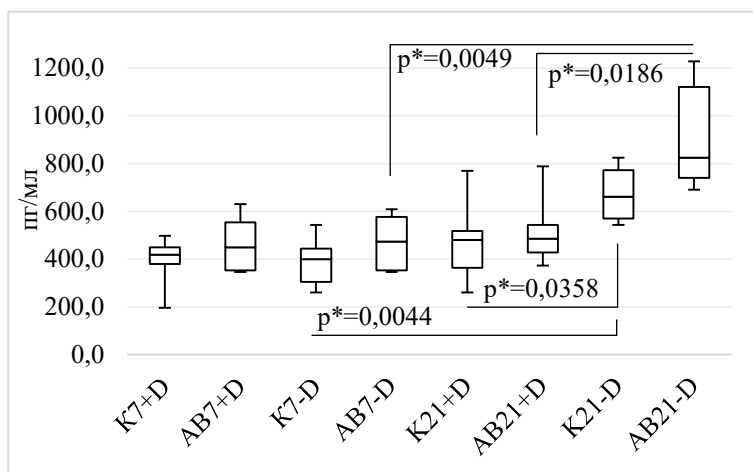


Рис.1 Содержание FGF23 в сыворотке крыс в эксперименте №2. К – виварный контроль, АВ – антиорто статическое вывешивание, +D – вит. D<sub>3</sub>, -D – плацебо.

p\* - скорректированное p.

### Литература

1. Ильин Е.А., Новиков В.Е. Стенд для моделирования физиологических эффектов невесомости в лабораторных экспериментах с крысами // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1980. – Т.14. – № 3. – С. 79-80.
2. Morey-Holton E.R., Globus R.K. Hindlimb unloading rodent model: Technical aspects // J. Appl. Physiol. – 2002. – V.92. – №4. – P. 1367–1377.

3. Ильин А.В., Арбузова М.И. Фактор роста фибробластов 23 и белок Klotho в патогенезе вторичного гиперпаратиреоза // Остеопороз и остеопатии. – 2013 – Т.16. – № 3. – С. 20-27.

4. Penido M. G. M. G., Alon U. S. Phosphate homeostasis and its role in bone health // Pediatric nephrology. – 2012. – Т. 27. – № 11. – С. 2039-2048.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

УДК 613.693

eLIBRARY.RU: 89.27.29

**Маркина Е.А.**

**Markina E.A.**

младший научный сотрудник

**Журавлева О.А.**

**Zhuravleva O.A.**

кандидат медицинских наук

ведущий научный сотрудник

**Серова А.В.**

**Serova A.V.**

младший научный сотрудник

**Кузичкин Д.С.**

**Kuzichkin D.S.**

кандидат биологических наук

ведущий научный сотрудник

**Маркин А.А.**

**Markin A.A.**

кандидат медицинских наук

ведущий научный сотрудник – зав. лабораторией

**Журавлева Т.В.**

**Zhuravleva T.V.**

кандидат психологических наук

старший научный сотрудник

**Поляков А.В.**

**Polyakov A.V.**

кандидат медицинских наук

заведующий отделом

**Лабетская О.И.**

**Labetskaya O.I.**

младший научный сотрудник

**Тихонова Г.А.**  
**Tikhonova G.A.**  
кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА  
У ИСПЫТАТЕЛЕЙ-ДОБРОВОЛЬЦЕВ ПРИ НАХОЖДЕНИИ  
В ГИПОМАГНИТНОЙ СРЕДЕ КОСМИЧЕСКОГО УРОВНЯ**

**STUDY OF LIPID METABOLISM INDICES IN VOLUNTEERS  
WHILE IN A HYPOMAGNETIC ENVIRONMENT OF A SPACE  
LEVEL**

**Аннотация.** У 6 испыталелей определяли значения 12 показателей липидного обмена при нахождении в гипомагнитной среде (ГС), ослабленной в 350, 650 и 1000 раз относительно геомагнитного поля (ГМП). При ослаблении ГМП в 350 и 650 раз достоверно возросла концентрация фосфолипидов относительно фоновых значений. 1000-кратное ослабление ГМП приводило к повышению содержания липидных субстратов энергообмена и аполипопротеина В, отражая стрессогенность воздействия.

**Ключевые слова:** космическая медицина, гипомагнитная среда, липидный обмен.

**Abstract.** The values of 12 lipid metabolism indices were determined in 6 volunteers when they were in a hypomagnetic medium weakened by 350, 650 and 1000 times relative to the geomagnetic field (GMP). With the weakening of GMP by 350 and 650 times, the concentration of phospholipids significantly increased relative to background values. A 1000-fold weakening of GMP led to an increase in the content of lipid substrates of energy metabolism and apolipoprotein B, reflecting the stress of exposure.

**Keywords:** space medicine, hypomagnetic environment, lipid metabolism.

**Введение.** Длительное нахождение работников в помещениях, где ГМП ослаблено до 10 раз, приводит к появлению у них признаков нейроциркуляторной дистонии вплоть до развития гипертонической болезни [1]. Согласно СанПин 2.1.8/2.2.4.2489-09, в ГС с 4-х-кратным ослаблением ГМП работа допускается не более двух часов за смену [2].

По сравнению с земным, магнитное поле Марса ослаблено в 10-170 раз, Луны в 170-1000, а в межпланетном пространстве до 10000 раз [3]. Следует ожидать системного неблагоприятного действия ГС космического уровня на здоровье космонавтов во время галактических миссий.

**Цель работы** – исследование влияния ГС космического уровня на состояние липидного обмена здорового человека.

**Материалы и методы.** В эксперименте участвовали 6 мужчин в возрасте от 26 до 37 лет. Программа одобрена комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ–ИМБП РАН. Каждый проходил 4-часовую тренировку (фон) в установке «Арфа», затем находился в ней 4 раза по 24 часа сидя, 8-часовыми сессиями с 3-часовым перерывом между ними. Интервал между сериями составлял 7 суток. Серия «плацебо» и 4-часовая тренировка проходили в условиях нормального ГМП. В остальных ГМП было ослаблено в 350, 650 и 1000 раз. Венозная кровь отбиралась по завершении каждой серии.

В сыворотке крови определяли концентрации холестерина, холестерина липопротеидов высокой, низкой (ХС ЛПНП) и очень низкой (ХС ЛПОНП) плотности, неэтерифицированных жирных кислот, триглицеридов (ТГ), аполипопротеина А1 (Апо А1), аполипопротеина В (Апо В) и фосфолипидов (ФЛ). Рассчитывались величины ЛПВП– и АпоВ/АпоА1 – отношения. Статистическую обработку данных проводили методами вариационной статистики с применением критерия Вилкоксона.

**Результаты и обсуждение.** В серии «плацебо» уровень ТГ повышался на 37%, ХС ЛПОНП – на 39% относительно фона. В ГС, ослабленной в 350 раз, на 10% увеличивалось содержание ФЛ. При 650-кратном ослаблении ГМП различия по уровню ТГ и ХС ЛПОНП с фоном нивелировались, а содержание ФЛ оставалось повышенным на 10%. В 1000-кратно ослабленном ГМП повышался уровень ТГ относительно фона и плацебо-серии на 68% и 23% соответственно. Содержание ХС ЛПОНП возрастало на 69% и 22%. Концентрация АпоВ увеличивалась относительно обеих серий на 16%. Стрессогенность воздействия была компенсированной, о чем можно судить по неизменной величине АпоВ/АпоА1, увеличенному на 20% ЛПВП-отношению и сниженному на 12% уровню ХС ЛПНП.

**Заключение.** Суточное пребывание в ГС, ослабленной в 350 и 650 раз, приводит к увеличению в крови уровня ФЛ в 1,1 раза. При 1000-кратном ослаблении достоверно повышается содержание липидных субстратов энергообмена и АпоВ, отражая стрессогенность воздействия. Так как значения всех исследованных показателей не

выходили за границы нормы, можно заключить, что обнаруженные изменения являлись адаптивными.

Работа выполнена в рамках темы РАН FMFR-2024-0039

### **Литература**

1. Маркин А.А., Журавлева О.А., Журавлева Т.В. и др. Влияние гипомагнитной среды на метаболизм и психофизиологические реакции здорового человека // Физиология человека. – 2023. – Т. 49. – № 6. – С. 84–91.
2. Артамонов А.А., Карташова М.К., Плотников Е.В. и др. Гипомагнитные условия: способы моделирования и оценка воздействия // Медицина экстремальных состояний. – 2019. – Т. 21. № 3. – С. 357-370.
3. Xue X., Ali Y.F, Luo W. et al. Effects of Space Hypomagnetic Environment on Circadian Rhythm // Frontiers in Physiology. – 2021. – V.12. – 643943. – doi: 10.3389/fphys.2021.643943.

УДК 57.017.3

eLIBRARY.RU: 76.35.29

**Ничипорук И.А.**

**Nichiporuk I.A.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К ОРБИТАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ПОЛЁТАМ**

### **PREDICTING THE SUCCESS OF HUMAN ADAPTATION TO THE ORBITAL SPACE FLIGHTS**

**Аннотация.** Множественный корреляционный анализ исходных данных 26 космонавтов показал, что успешность их адаптации к условиям орбитального космического полета может быть спрогнозирована по различиям 14 переменных более чем в 99,9% случаев с ошибкой менее 0,003%.

**Ключевые слова:** прогнозирование успешности адаптации, психонейроэндокринный статус, космические полеты.

**Abstract.** A multiple correlation analysis of the initial data of 26 astronauts showed that the success of their adaptation to the conditions of an

orbital space flight can be predicted by differences in 14 variables in more than 99.9% of cases with an error of less than 0.003%.

**Keywords:** predicting the success of adaptation, psychoneuroendocrine status, space flights.

Анализ данных показал, что более трети космонавтов использовали активную стратегию адаптации к условиям орбитальных космических полетов (ОКП), обозначенную как «гравитационно-ориентированная ортоградно-детерминированная адаптация» (ГООДА), которая проявляется минимизацией потерь или сохранением состава тела даже при меньшем использовании мер профилактики [1-3], но более привлекательным является прогнозирование успешности адаптации по исходным показателям психонейроэндокринного статуса участников, что являлось основной целью настоящих исследований.

#### **Материалы и методы**

Был проведен анализ массива данных предполетного обследования 26 космонавтов с известными результатами их адаптации к ОКП с выявлением типологических особенностей организма для прогноза успешности адаптации.

#### **Результаты и обсуждение**

Таблица. 1. Доверительный интервалы результатов множественного корреляционного анализа предполетных показателей космонавтов (зависимая переменная «стратегия адаптации», пассивная =1, активная (ГООДА) =2, n= 26)

Показатель, единицы измерения	Доверительный интервал		БЕТА
	-95%	+95%	
Остеокальцин, нг/мл	11,8	22,7	0,512
Подвижность нервных процессов, баллы	62,8	71,3	0,741
Фолликулостимулирующий гормон, МЕ/л	2,0	4,4	1,174
Кальцитонин, пг/мл	7,4	16,9	0,361
Эритропоэтин, МЕ/л	5	71	-0,538
НФГМ, пг/мл	1,0	12,3	-0,475
Активная клеточная масса, кг	42,3	44,8	-0,244
Тестостерон, нмоль/л	13,5	19,2	0,580
Сенситивность, стены	5	7	0,366
Гормон роста, пмоль/л	5,3	93,6	0,190

Жировая масса тела, кг	11,5	15,6	-0,157
Осмоляльность крови, мОсм/кг <sub>H2O</sub>	274	303	-0,794
Конформность-автономность, стены	4	6	-0,328
Удельные энерготраты покоя, ккал/кг/сутки	28,0	31,3	-0,294
Активин А, пг/мл	173,4	479,6	0,065
<b>Итоговые показатели множественного корреляционного анализа</b>			
Коэффициент множественной корреляции (R)	>0,999		
Коэффициент множественной детерминации (R <sup>2</sup> )	>0,999		
Скорректированный R <sup>2</sup>	>0,999		
Стандартная ошибка оценки	0,0025		

**Примечание:** БЕТА – стандартизированные коэффициенты регрессии итоговых независимых переменных (стандартная ошибка БЕТА <0,015; p<0,04); НФГМ – нейротрофический фактор головного мозга.

В целом, результаты анализа возможности прогнозирования успешности адаптации к условиям продолжительных ОКП по исходным показателям (Таблица 1), свидетельствуют, что для космонавтов, использующих стратегию ГООДА, в отличие от космонавтов с пассивной стратегией характерны более высокая подвижность нервных процессов, конформность, решительность и предприимчивость, быстрота ответных действий, более высокие концентрации в крови остеокальцина, кальцитонина, гормона роста, ФСГ, тестостерона и активина А, и низкие – эритропоэтина и НФГМ, у них ниже осмоляльность крови, жировая и функционально-активная доля массы тела, а также удельные энерготраты покоя.

Работа выполнена в рамках темы РАН FMFR-2024-0039 и контракта № 1921730201692217000241851/19-03-347/(272-1301-2017) с ГК «Роскосмос».

### Литература

1. Ничипорук И.А. Сравнительный анализ динамики жидкостных сред, состава тела и нейрогормональной регуляции обмена веществ в условиях длительных космических полетов и модельных экспериментов // Actanaturae. 2019. Спецвыпуск. Т. 1. С.103.
2. Мониторинг обмена веществ и его регуляции, динамики защитных систем организма и экологических факторов во время космических полетов на МКС. УДК 577.083.3. № гос. регистрации 4770238802719000145, СЧ ОКР: «МКС (Наука)» ИМБП. Рук. к.м.н.

Ничипорук И.А. 25.12.2019 г. ГНЦ РФ-ИМБП РАН. (Итоговый отчет, 49 с., 14 табл., 9 рис.).

3. Nichiporuk I.A., Chistokhodova S.A., Fomina E.V. et al. Distinguishing features of human adaptation to long-term space flights onboard of the International Space Station // Aerospace and Environmental Medicine – 2021. - V. 55, № 1/1 special issue. - P. 102-103.

УДК 613.693

eLIBRARY.RU: 89.27.29

**Серова А.В.**

**Serova A.V.**

младший научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Журавлева О.А.**

**Zhuravleva O.A.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Вострикова Л.В.**

**Vostrikova L.V.**

научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**Маркин А.А.**

**Markin A.A.**

кандидат медицинских наук  
ведущий научный сотрудник, зав. лаб.  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва

**ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПУЛА  
ЖЕЛЕЗА В КРОВИ КОСМОНАВТОВ ПОСЛЕ ОРБИТАЛЬНЫХ  
ПОЛЁТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ**

**THE DYNAMICS OF INDICES OF THE IRON TRANSPORT POOL  
IN THE BLOOD OF COSMONAUTS AFTER DIFFERENT  
DURATIONS ORBITAL FLIGHTS**

**Аннотация.** У 9 космонавтов после экспедиций посещения на Международной космической станции (МКС) продолжительностью от 8 до 14 суток и 27 космонавтов после полетов длительностью от 125 до 215 суток исследовали динамику показателей транспортного пула



железа. После коротких полетов не обнаружены значимые изменения исследуемых параметров, а после длительных выявлены признаки формирования анемического синдрома.

**Ключевые слова:** железо, трансферрин, железосвязывающая способность сыворотки, орбитальные полеты.

**Abstract** The dynamics of iron transport pool indices were studied in 9 cosmonauts after visiting missions lasting from 8 to 14 days and 27 cosmonauts after flights on the International Space Station (ISS) lasting from 125 to 215 days. After short flights, no significant changes were found in the studied parameters, and signs of the formation of an anemic syndrome were revealed after long-term flights.

**Keywords:** iron, transferrin, iron binding capacity, orbital flights.

Воплощая идеи основоположника теории межпланетных сообщений К.Э. Циолковского, человечество вплотную приблизилось к осуществлению пилотируемых галактических миссий. Несмотря на накопленный объем знаний, остается еще много вопросов, на которые предстоит найти ответы.

Недавние результаты исследований показали, что микрогравитация значительно влияет на метаболизм железа [1]. Установлено, что у членов экипажа “Spacelab 1” концентрация железа в сыворотке крови варьировала, в основном, в рамках нормального диапазона значений во время и после полета, при этом содержание трансферрина, насыщение его железом и общая железосвязывающая способность (ОЖСС) не изменялись на протяжении всей миссии и после нее [2]. В исследованиях С.М. Ивановой с соавторами было обнаружено достоверное снижение концентрации железа на 7-е и 15-е сутки периода восстановления (ПВ) у космонавтов, совершивших полеты продолжительностью от 161 до 195 суток [3].

Цель данного исследования – изучение динамики показателей транспортного пула железа в крови космонавтов после орбитальных полетов различной продолжительности.

В исследовании участвовали 9 космонавтов мужского пола в возрасте  $46,1 \pm 3,0$  лет, совершивших полеты на МКС длительностью от 8 до 14 суток, и 27 космонавтов в возрасте  $44,9 \pm 1,0$  лет – от 125 до 215 суток. У каждого из обследуемых проводился забор венозной крови за 35 суток до начала полета, на 1-е сутки и на 7-е сутки ПВ. Измерения проводили на гематологическом анализаторе “Celltac  $\alpha$ + MEK 6318K”, на биохимическом анализаторе “TARGA 3000” и на спектрофотометре “DU 530” с использованием коммерческих наборов (DiaSys, Германия; CORMEY, Польша).

Статистическую обработку данных проводили, используя методы из пакета прикладных программ Statistica for Windows 12.0 (США). Достоверность различий между значениями фонового периода и периода восстановления оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

При обследовании космонавтов, совершивших экспедиции-посещения на МКС, на 1-е сутки после приземления не было выявлено статистически значимых изменений показателей транспортного пула железа.

В крови космонавтов, после полетов продолжительностью от 125 до 215 суток, на 1-е сутки ПВ было обнаружено снижение концентрации трансферрина, ОЖСС и фактора микроцитарной анемии (MAF) по сравнению с фоновыми данными на 8%, 8% и 7% соответственно. На 7-е сутки ПВ выявлялось снижение количества эритроцитов на 7%, содержания гемоглобина на 9%, железа на 24% и MAF на 11%. Полученные результаты свидетельствуют о развитии анемического синдрома.

Таким образом, факторы, действующие на организм космонавтов во время кратковременных полетов на МКС, не оказывают существенного влияния на гематологические параметры и показатели транспортного пула железа. В ПВ после полетов на МКС продолжительностью от 125 до 215 суток обнаружены изменения, характерные для анемического синдрома, обусловленного, по-видимому, перераспределением железа в организме космонавтов.

Работа выполнена в рамках темы РАН FMFR-2024-0039

### **Литература**

1. Zwart S.R., Morgan J.L., Smith S.M. Iron status and its relations with oxidative damage and bone loss during long-duration space flight on the International Space Station // *The American journal of clinical nutrition*. – 2013. – V.98. – №.1. – P. 217–223.
2. Smith S.M. Red blood cell and iron metabolism during space flight // *Nutrition*. –2002. – V.18. – P. 864–866.
3. Иванова С.М., Моруков Б.В., Лабеецкая О.И. и др. Состояние красной крови космонавтов в полетах на Международной космической станции // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2007. – Т. 41. – № 6. – С. 28-33.

УДК 57.048+616-71  
eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Гордиенко К.В.**

**Gordienko K.V.**

научный сотрудник  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Сервули Е.А.**

**Servuli E.A.**

младший научный сотрудник

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Новиков В.Е.**

**Novikov V.E.**

ведущий научный сотрудник

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**Васильева Г.Ю.**

**Vassilieva G.Yu.**

ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

**ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕНСИТОМЕТРИИ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ КОСТНОГО ГОМЕОСТАЗА  
ВО ВРЕМЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

**APPLICATION OF ULTRASONIC DENSITOMETRY TO ASSESS  
THE DYNAMICS OF BONE HOMEOSTASIS DURING ISOLATION  
EXPERIMENTS**

**Аннотация.** Работа посвящена оценке влияния длительной изоляции на костный гомеостаз, а также применимости количественной ультразвуковой диагностики для указанной цели.

**Ключевые слова:** изоляция, проект SIRIUS, остеология, ультразвуковая денситометрия.

**Abstract.** The work is devoted to assessing the effect of long-term isolation on bone homeostasis as well as the applicability of quantitative ultrasound diagnostics for this purpose.

**Keywords:** isolation, SIRIUS project, osteology, ultrasound bone densitometry.

Содержательной целью работы было динамическое исследование костного гомеостаза во время длительной социальной изоляции; методологическая цель заключалась в определении особенностей применения ультразвуковой денситометрии в указанных условиях.

Материалы для исследования были получены в ходе трех изоляционных экспериментов (проект SIRIUS) продолжительностью свыше четырех месяцев.

Исследование заключалось в выполнении ультразвуковой денситометрии пяточной кости участникам изоляционных экспериментов.

В фоновый период денситометрия проводилась сотрудником лаборатории-постановщика исследования, во время изоляции – предварительно обученными членами экипажа (один – ответственный за выполнение методики во время изоляции, второй – помогающий). Процедура проводилась на ультразвуковом денситометре Lunar Achilles InSight (GE, США) в соответствии с методическими рекомендациями производителя.

Всего участникам экспериментов (9 женщин, 8 мужчин:  $72 \pm 15$  кг,  $171 \pm 8,8$  см,  $33 \pm 5,3$  года) проведено 110 сессий измерений.

Измерялась скорость (SOS, м/с) и ослабление частот (BUA, дБ/мГц) звуковой волны по мере ее прохождения через пяточную кость, а также их агрегат – индекс жесткости (Stiffness index).

Для детектирования ожидаемых изменений индекса жесткости во время изоляции рекомендуется в рамках одной сессий проводить повторные измерения. В данной работе выбрана десятикратная повторность, что позволяет определить с достоверностью 90 % годовые изменения индекса жесткости на уровне 1 %.

Нами отмечены следующие особенности полученных данных:

– BUA, SOS и Stiffness index коллинеарны ( $r > 0,95$ ,  $p < 0,05$ ). Подтверждение данной связи для генеральной совокупности позволит рассматривать указанные показатели как взаимозаменяемые.

– Коэффициент вариации индекса жесткости в 7 из 110 сессий превышает 5 % и достоверно отличается ( $p < 0,05$ ) для экспериментов SIRIUS-19 и SIRIUS-21. Разница по полу, возрасту, времени проведения сессии не обнаружена. Данный показатель в дальнейшем можно использовать для оценки качества проведенной сессии: чем ниже значение коэффициента, тем меньше движений совершал объект исследований во время измерений.

Существует положительная статистическая связь ( $r = 0,93 \pm 0,05$ ,  $p < 0,05$ ) между значением индекса жесткости и порядковым номером измерения, но только для эксперимента SIRIUS-19 (рисунок 1). Связи между коэффициентом корреляции и продолжительностью эксперимента не обнаружено. В то же время, значение  $r$  статистически достоверно выше ( $p < 0,05$ ) для SIRIUS-19 по отношению к двум другим представленным экспериментам. По нашему мнению, данный

показатель является характеристикой объекта исследования, а не оборудования: вероятно, изменения значения индекса жесткости в ходе сессии может быть связано с изменением гидратации мягких тканей нижних конечностей испытуемого во время проведения исследования. Стабильность подобной реакции, выраженная коэффициентом корреляции со «слабой вариацией» как во время сессии, так и во время всего эксперимента, скорее полезная характеристика, так как более предсказуема, а, значит, легко учитываема при анализе.

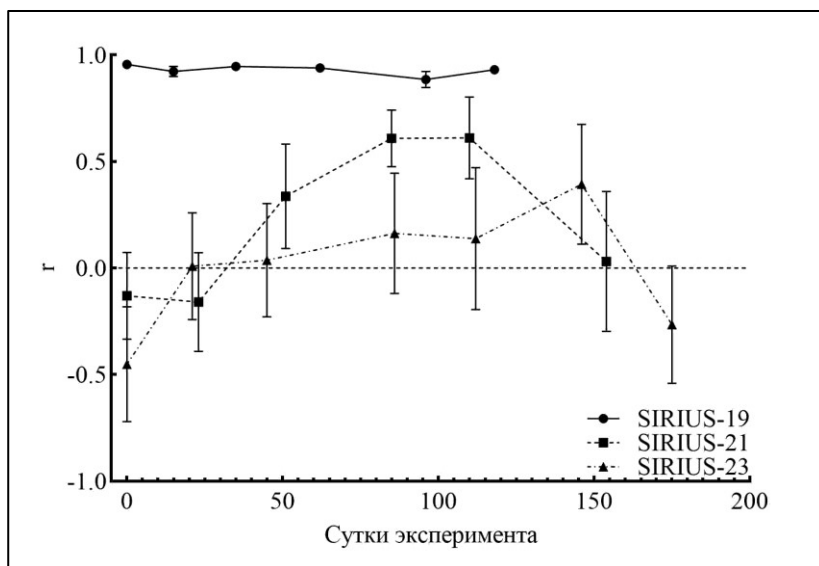


Рис. 1. Коэффициент корреляции (индекс жесткости к порядковому номеру измерения)

При оценке гомеостаза костей нами обнаружено статически достоверное увеличения значения индекса жесткости пяточной кости для членов экипажа SIRIUS-19 на 62-96 сутки эксперимента и снижение на 175 для участников SIRIUS-23 (рисунок 2).

Полученный результат позволяет предположить, что используемый комплекс профилактических мер был достаточным для сохранения прочностных характеристик пяточной кости в первые 3 месяца изоляции (SIRIUS-19), а стабильность проведенных сессий в эксперименте подкрепляет ценность полученного результата. В то же время снижение прочностных характеристик на 175 сутки (SIRIUS-23)

и высокая вариабельность значений показателя (SIRIUS-21) требуют дополнительной оценки различий экспериментальных условий.

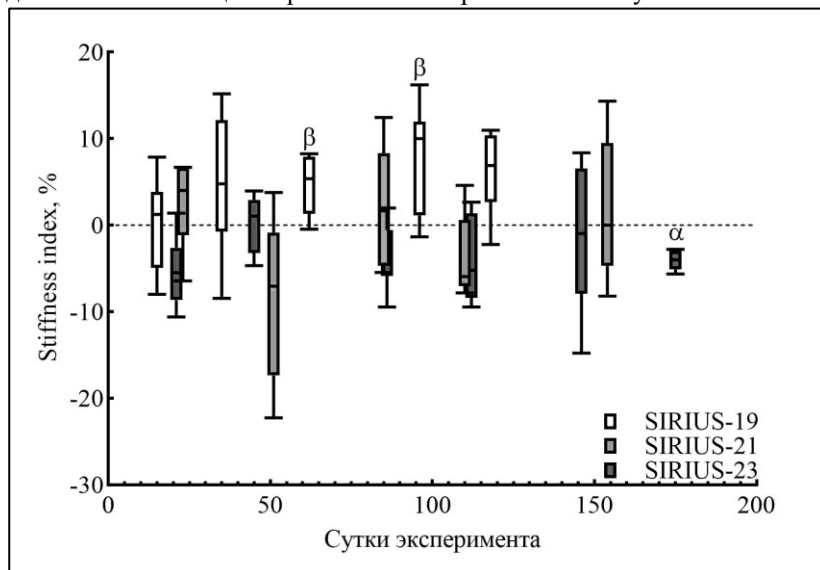


Рис. 2. Изменение индекса жесткости в ходе изоляционных экспериментов;  $\alpha - p < 0,05$  к фону,  $\beta - p < 0,05$  к 15 суткам изоляции

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

УДК: 57,048 + 616-71  
eLIBRARY.RU: 89.00.00

**Седов Е.А.**  
**Sedov E.A.**  
ГНЦ РФ-ИМБП РАН, г. Москва  
**Сидоренко Д.П.**  
**Sidorenko D.P.**  
ГНЦ РФ-ИМБП РАН, г. Москва  
**Рогач Н.В.**  
**Rogach N.V.**  
ООО «Евротест»  
**Васильева Г.Ю.**  
**Vassilieva G.Yu.**  
кандидат медицинских наук

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ  
НЕЙРОСПЕЦИФИЧЕСКИХ БИОМАРКЕРОВ ПРИ  
МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА**

**MODERN POSSIBILITIES FOR DIAGNOSTICS OF  
NEUROSPECIFIC BIOMARKERS IN MODELING SPACE FLIGHT  
FACTORS**

**Аннотация.** Обобщены современные подходы к лабораторной диагностике нейроспецифических биомаркеров, проведен сравнительный анализ аналитических и эксплуатационных характеристик различных методов.

**Ключевые слова:** нейроспецифические биомаркеры, лабораторная диагностика, иммунологический анализ, аналитические характеристики

**Abstract.** Modern approaches to laboratory diagnostics of neurospecific biomarkers are summarized, and a comparative analysis of the analytical and operational characteristics of various methods is carried out.

**Keywords:** neurospecific biomarkers, laboratory diagnostics, immunoassay, analytical performance.

Помимо широко известных и подробно описанных структурных изменений мозга в ответ на воздействие космического полета [1,3,4, с.4], наблюдается ряд метаболических нарушений, связанных с изменением концентрации нейроспецифических биомаркеров. Определение таких маркеров в биоматериале возможно с помощью различных методов лабораторной диагностики, выбор метода зависит от типа определяемого аналита и требований к получаемым результатам.

**Иммунологические методы** на протяжении длительного времени остаются наиболее доступными и позволяют определять широкий спектр параметров, отражающих психофизиологическое состояние как испытуемых при моделировании факторов космического полёта, так и космонавтов. С помощью иммунологического анализа доступно определение онкомаркеров S100 и NSE [9.4], маркеров нейродегенерации и проницаемости гемато-энцефалического барьера, бета-амилоидный белок (A $\beta$ ) и тау-белок [2;7], катехоламинов и их метаболитов, а также аутоантител. Существует много разновидностей

иммунологических методов, каждый из которых, обладает определенными преимуществами и недостатками.

Иммуноферментный анализ (ИФА) – наиболее распространенный и доступный для лабораторий, не требует дорогостоящего оборудования, простой в эксплуатации. Обладает приемлемыми показателями чувствительности и специфичности, возможна быстрая адаптация под новые перспективные маркёры (например, нейрогранин или GFAP). Продолжительность анализа ~1.5 часа, количественные результаты.

Иммуноблоттинг – разновидность ИФА, реакция происходит не в планшете, а на нитроцеллюлозной мембране, на которую нанесены очищенные антигены. К преимуществам можно отнести возможность одновременного определения нескольких показателей, например, одновременное определение антител к тканям нервной системы. Полуколичественные и качественные результаты.

Хемилюминесценция (ИХЛА/ЭХЛА) – методика требует наличия дорогостоящего анализатора, хорошие показатели чувствительности и специфичности, количественные результаты, продолжительность анализа 20-40 минут.

Непрямая реакция флуоресценции (НРИФ) – использование нативных препаратов нервной ткани, фиксированной на стекле позволяет определять некоторые виды антител с очень высоким уровнем специфичности. К недостаткам метода можно отнести высокие требования к квалификации оператора, т.к. фиксация результатов анализа производится с помощью флуоресцентной микроскопии.

Иммунохроматография (ИХА) – определение показателей в экспресс-формате, время выполнения – 15-20 минут, не требует оборудования и наличия квалифицированного персонала. Возможно проведение самотестирования. Относится к скрининговым методам, поэтому обладают повышенной чувствительностью, но требует дополнительного подтверждения с помощью высокоспецифичных методик.

Хроматография и электрофорез используются для поиска специфических маркеров в рамках метаболомных исследований, т.е. направлены на выявление изменений эндогенных метаболитов посредством получения соответствующих профилей [8]. Подобные исследования особенно актуальны при оценке нейроэндокринного статуса, т.к. многие аналиты, оказывающие влияние на нервную систему крайне нестабильны и склонны быстро деградировать с образованием промежуточных продуктов метаболизма.



С помощью хроматографии и электрофореза возможно определение маркеров нейродегенерации и нарушения целостности ГЭБ [5], а также моноаминов и их метаболитов, отражающих различные психоэмоциональные изменения в ЦНС [6].

В качестве перспективных и заслуживающих внимания методов исследования стоит отметить мультиплексный анализ и прикроватную диагностику (point-of-care testing). Эти методы в полной мере отражают тенденцию к минимизации пространства в лаборатории, увеличению скорости выдачи результата с сохранением высоких показателей чувствительности и специфичности, при этом возможно одновременное определение нескольких параметров в количественном формате.

### Литература

1. Brain tissue-volume changes in cosmonauts. [Journal] / auth. Van Ombergen et al. // N Engl J Med. - 2018. - pp. 1678-1680.
2. Changes in Blood Biomarkers of Brain Injury and Degeneration Following Long-Duration Spaceflight [Journal] / auth. Peter zu Eulenburg et al. // JAMA Neurol.. - 2021. - 78(12). - pp. 1525-1527.
3. Effects of spaceflight on astronaut brain structure as indicated on MRI. [Journal] / auth. Roberts et al.; // N Engl J Med.. - 2017. - 377(18). - pp. 1746-1753.
4. Macro- and microstructural changes in cosmonauts' brains after long-duration spaceflight. [Journal] / auth. Jillings S et al. // Sci Adv.. - 2020. - 6(36).
5. Metabolomics of neurodegenerative Diseases [Journal] / auth. Botas A., Campbell H.M., Han X., Maletic-Savatic M. - [s.l.] : Int. Rev. Neurobiol.. - 122. - p. 53.
6. Neuropeptide-Catecholamine interactions in stress [Journal] / auth. Eiden Lee E.. - Maryland : Adv. Pharmacol., 2013. - Vol. 68. - pp. 399-404.
7. Tau protein isoforms, phosphorylation [Article] / auth. Buée L, Bussièrè T, Buée-Scherrer V, et al // Brain Res Brain Res Rev. - 2000. - 33(1). - pp. 95-130.
8. Применение хроматографических и электрофоретических методов в метаболомных исследованиях [Journal] / auth. Карцова Л.А. Соловьёва Л.А.. - Санкт-Петербург : Журнал аналитической химии, 2019. - 4 : Vol. 74. - pp. 243-253.
9. Роль биомаркеров повреждения вещества головного мозга в диагностике, оценке эффективности лечения и прогнозировании исходов тяжелой черепно-мозговой травмы [Article] / auth. Храпов

Ю.В., Поройский С.В. // Волгоградский научно-медицинский журнал. .  
- 2013. - 3(39). - pp. С. 10-20.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН по теме FMFR-2024-0039.

**Секция 5**  
**«АВИАЦИЯ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ»**

УДК 629.7  
eLIBRARY.RU: 55.47.03

**Никитина О.А.**  
**Nikitina O.A.**

экскурсовод  
филиал ГМИК им. К.Э. Циолковского  
«Научно-мемориальный музей  
профессора Н.Е. Жуковского», г. Москва

**С.А. ЧАПЛЫГИН – УЧЕНИК И СОРАТНИК**  
**ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО**

**S.A. CHAPLYGIN – A STUDENT AND ASSOCIATE**  
**OF PROFESSOR N.E. ZHUKOVSKY**

**Аннотация.** К 155-летию со дня рождения С.А. Чаплыгина, ученого в области математики и механики, ученика и соратника «отца русской авиации» Н.Е. Жуковского. Дана характеристика их научного сотрудничества, выявлено общее и особенное как в научных подходах этих двух ученых, так и в стиле их преподавания. В рамках исследования использованы неопубликованные материалы из фондов Научно-мемориального музея профессора Н.Е. Жуковского.

**Ключевые слова:** С.А. Чаплыгин, Н.Е. Жуковский, история авиации, аэродинамика, подъемная сила.

**Abstract.** Marking the 155<sup>th</sup> anniversary of the birth of S.A. Chaplygin, a scientist in the field of mathematics and mechanics, a student and associate of the «father of Russian aviation» N.E. Zhukovsky. The characteristics of their scientific cooperation are given, the common and special features are revealed both in the scientific approaches of these two scientists and in their teaching style. As part of the study, there were used unpublished documents from the archive of the Scientific Memorial Museum of Professor N.E. Zhukovsky.

**Keywords:** S.A. Chaplygin, N.E. Zhukovsky, aviation history, aerodynamics, lifting force.

В 2024 г. исполнилось 155 лет со дня рождения Сергея Алексеевича Чаплыгина – ученого-математика и механика, академика, Героя

Социалистического Труда [1, с. 88, 115]. Его часто упоминают вместе с «отцом русской авиации» – профессором Н.Е. Жуковским. После смерти Жуковского Чаплыгин продолжал его дело в науке и развитии авиации [2, с. 60].

Научная новизна исследования состоит в обращении к ранее неопубликованным документам из фондов Научно-мемориального музея профессора Н.Е. Жуковского: фондов С.А. Чаплыгина [3] и его дочери О.С. Чаплыгиной [4], а также из фонда Н.Е. Жуковского [5]. Эти источники впервые вводятся в научный оборот.

Еще со времен студенчества на Чаплыгина оказывали влияние темы, над которыми работал профессор Жуковский [1, с. 22]. Профессор высоко ценил как студенческие работы Чаплыгина [3], так и более зрелые его труды [6; 7]. Тем не менее, Жуковский допускал и критику в адрес Чаплыгина, в частности, считал его стиль изложения материала слишком сложным [1, с. 28, 48].

В теореме Жуковского о подъемной силе крыла аэроплана фигурировала циркуляция воздушных потоков вокруг профиля крыла, но для вычисления ее величины нужно было провести эксперимент с аэропланом, которого не было [8, с. 115]. Гипотеза Чаплыгина состояла в плавном сходе потока воздуха с верхней поверхности профиля крыла у его задней острой кромки [1, с. 66]. Это позволяло вычислить величину циркуляции чисто аналитическим путем [9, с. 94]. Сегодня это известно как постулат Чаплыгина – Жуковского, а теория подъемной силы, наконец, стала завершенной [2, с. 186]. Чаплыгин и Жуковский вместе создали аэродинамику как науку, заложив теоретическую основу развития авиации.

Н.Е. Жуковский и С.А. Чаплыгин обладали разным типом мышления: Чаплыгин был аналитиком, а Жуковский – геометром [1, с. 28, 58]. Из этого проистекало их различие не только как ученых, но и как лекторов. Лекции Жуковского были понятны слушателям [8, с. 41], тогда как Чаплыгина было слушать трудно без предварительной подготовки [2, с. 47].

Несмотря на разность методов, Н.Е. Жуковский и С.А. Чаплыгин последовательно двигались в одном направлении. Они оба стремились к техническому прогрессу с помощью научных открытий. Они оба мечтали, чтобы человек покорил небо.

### **Литература**

1. Голубев В.В. Сергей Алексеевич Чаплыгин. – М.: Бюро новой техники, 1947. – 123 с.

2. Академик С.А. Чаплыгин / ФГУП Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. – М.: Наука, 2010. – 286 с.
3. ГМИК НЕЖ КП 5115/18.
4. ГМИК НЕЖ КП 5117/13.
5. ГМИК НЕЖ КП 77/806/1.
6. ГМИК НЕЖ КП 5115/580.
7. ГМИК НЕЖ КП 5115/621/4.
8. Гумилевский Л.И. Чаплыгин. – М.: Молодая гвардия, 1969. – 272 с.
9. Н.Е. Жуковский / ФГУП Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. – М.: Наука, 2007. – 274 с.

УДК 629.7

eLIBRARY.RU: 30.00.00

**Богданов А.Н.**

**Bogdanov A.N.**

кандидат физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник  
НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова  
г. Москва

**Кондратьев И.М.**

**Kondratiev I.M.**

кандидат технических наук, доцент  
старший научный сотрудник  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

**К 120-ЛЕТИЮ КОНЦЕПЦИИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ.  
ПАМЯТИ ЛЮДВИГА ПРАНДТЛЯ (1875–1953)**

**TO THE 120<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BOUNDARY LAYER  
CONCEPT. IN MEMORY OF LUDWIG PRANDTL (1875–1953)**

**Аннотация.** Обсуждаются научный метод и результаты выдающегося ученого-механика Людвиг Прандтля, развитие его принципов.

**Ключевые слова:** аэродинамика, авиация, пограничный слой.

**Abstract.** Discusses the scientific method and results of the outstanding mechanical scientist Ludwig Prandtl, the development of his principles.

**Keywords:** aerodynamics, aviation, boundary layer.

Имя выдающегося ученого-механика Людвиг Прандтля хорошо известно специалистам в области аэродинамики. В 1932 году в предисловии к русскому изданию книги Л. Прандтля и О. Титенса «Гидро- и аэромеханика» [1], редактор русского перевода, крупный ученый- механик, один из ближайших учеников Н.Е. Жуковского Л.С. Лейбензон, назвал Л. Прандтля самым выдающимся из современных механиков. Он подчеркнул его хорошую известность в СССР, его научный метод характеризовал как умело и успешно объединяющий теорию и практику (в чем, по мнению Лейбензона, Прандтль был подобен Н.Е. Жуковскому), указал связь имени Прандтля с крупнейшими достижениями XX века в области механики жидкости, аэродинамики и механики упругих тел, а издаваемую книгу оценил и как надежный фундамент для практической инженерной деятельности, и как руководство к дальнейшим научным изысканиям, в простом, ясном и строго научном стиле давшей изложение вопросов гидравлики и воздухоплавания. Незадолго перед тем, в 1929 году Л. Прандтль с научным визитом уже побывал в СССР. Он посетил ЦАГИ и Московский университет, где прочитал ряд лекций по вихревым течениям, турбулентности и сверхзвуковым течениям [2,3].

Прандтль был назван в числе выдающихся ученых (вместе с Больцманом и Кирхгофом) в монографии «Механика в СССР за тридцать лет» [4], а во 2-м томе «Механика в СССР за 50 лет» [5] 41 страница ссылок на Прандтля сильно опережает количество ссылок на других иностранных ученых. Показательно, что имя Прандтля вспоминали отечественные ученые на юбилейных научных мероприятиях нашей страны [6].

Людвиг Прандтля, как оказавшего наибольшее влияние на его научное мировоззрение, указывает в своем интервью [7] один из ведущих специалистов ЦАГИ, В.Я. Нейланд. К 110-летию обнаружения Прандтлем концепции пограничного слоя была опубликована статья Е.А. Гаевым [8]. Статья содержала размышления автора о методе мышления Л. Прандтля, о сочетании в ученом экспериментатора и теоретика, о роли идей Прандтля для его последователей.

Концепция пограничного слоя отмечает в 2024 году 120-летие. Отрадно, что разрешение многих принципиальных проблем механики жидкости и газа в развитие идей Прандтля на качественно более высоком уровне было получено в трудах отечественных учёных [9].

## Литература

1. О. Титьенс Гидро- и аэромеханика. Т.1. Пер. с нем. Г. А. Вольперта ; Под ред. проф. Л. С. Лейбензона. Москва ; Ленинград : ГТТИ, 1932. 222 с.
2. ЦАГИ 100 фактов.
3. Механика в Московском университете. Под редакцией И.А. Тюлиной, Н.Н. Смирнова. М.: Айрис-пресс. 2005. 352 с.
4. Механика в СССР за 30 лет. 1917-1947. Сборник статей. Москва ; Ленинград : ГИТТЛ, 1950. 416 с.
5. Механика в СССР за 50 лет. 1917-1967 : В 4 т. / АН СССР. Нац. ком. СССР по теорет. и приклад. механике; Под ред. Л.И. Седова (глав. ред.) и др. М.: Наука, 1968-. Т. 2: Механика жидкости и газа. 1970. 879 с.
6. О.А. Олейник К математической теории пограничного слоя. Доклад прочитан 20 октября 1967 г. на Юбилейной сессии Общего собрания Отделения математики АН СССР // Мат. заметки. 1968. Т. 3, № 4. С. 473–480.
7. Говорят руководители ЦАГИ. НЕЙЛАНД Владимир Яковлевич / В.В. Лазарев ЦАГИ. Цаговцы. Время. М.: Капитал-Пресс, 2021. 192 с.
8. Е.А. Гаев Людвиг Прандтль в гидромеханике прошлого и будущего//Прикладна гідромеханіка. 2014. Т. 16. С. 3–16.
9. А.Н. Богданов, В.Н. Диесперов, В.И. Жук Неклассические трансзвуковые пограничные слои. К преодолению некоторых тупиковых ситуаций в аэродинамике больших скоростей //ЖВММФ. 2018, т. 58, № 2, с. 270–280.

УДК 93/94

eLIBRARY.RU: 03.23.00

**Лазуревская Ю.А.**  
**Lazurevskaya Yu.A.**  
старший преподаватель  
Ростовский филиал МГТУ ГА  
г. Ростов-на-Дону

## АВИАЦИЯ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ НА ДОНУ В НАЧАЛЕ XX ВЕКА

### AVIATION AND AERONAUTICS ON THE DON AT THE BEGINNING OF THE XX CENTURY

**Аннотация.** Рассмотрены ключевые моменты, повлиявшие на формирование и историческое развития отечественной авиации и воздухоплавания, в том числе на Дону.

**Ключевые слова:** авиация, воздушные линии, воздушный флот, Дон, самолет, летчики.

**Abstract.** Examines the key points that influenced the formation and historical development of domestic aviation and aeronautics, including on the Don.

**Keywords:** aviation, airlines, air fleet, Don, aircraft, pilots.

В феврале 2023 года отечественная гражданская авиация отметила 100-летний юбилей. Современный мир невозможно представить без широкой сети авиасообщений, соединяющей страны и континенты. В данной статье мы рассмотрим кто стоял у истоков зарождения авиации на примере региональной авиации Дона, чья история тесно взаимосвязана с развитием отечественной авиации.

Обращаясь к истории зарождения и развития авиации и воздухоплавания на Дону, необходимо учитывать немногочисленность источников и опубликованных материалов по данной тематике. Вопросами истории становления региональной отечественной авиации сегодня занимаются такие исследователи, как Аверьянов А.В. [1], Кравец В.С. [2,3,4], Малыхин К.Г. [5], Карташев А.В. [6] и др. Отдельного внимания, при изучении истории возникновения авиации и воздухоплавания на Дону заслуживают «Неизвестные воспоминания В.Г. Баранова об авиации на Дону» [7], ведь именно Вячеслав Григорьевич Баранов был инициатором и создателем Донской авиации.

С 1912 года на базе структур Российского императорского военного воздушного флота формировалась авиация, в том числе на Дону. На Юге России начали появляться стационарные авиационные структуры - ангары, аэродромы, связь, коммуникации, а также самолеты и кадровый летный и технический состав, способный эксплуатировать воздушные суда не только в условиях военных действий. События данного периода способствовали тому, что на Дону



появились структуры, заложившие основу для формирования гражданской авиации.

Русский офицер В.Г. Баранов, командир 7-го авиационного дивизиона Донской армии, начальник авиации Донской армии с 1920 года, был выходцем из дворян Округа Войска Донского [8]. Именно он внес значительный вклад в формирование базы для развития авиации Дона, организовав переброску авиационного имущества на Дон в период Гражданской войны.

Говоря о становлении региональной авиации и воздухоплавания, следует заметить, что Донская авиация в самом начале своего развития рассматривалась с точки зрения военного применения, формировалась в период Первой мировой и Гражданской войн, заложив фундамент для нового периода в развитии отечественной авиации не только военной, но и гражданской.

### **Литература**

1. Аверьянов, А.В. Из Хроники Ростовского Объединенного Авиатряда и авиакомпании Донавиа 1920 – 1924 / А.В. Аверьянов // Донской временник. – 2023. – №11.
2. Кравец, В.С. О становлении авиации на Дону / В.С. Кравец // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. – 2024. – № 1(221). – С. 48-52. – DOI 10.18522/2687-0770-2024-1-48-52. – EDN IPDOBC.
3. Кравец, В.С. О зарождении Гражданской Авиации на Дону. 1912–1917 // Журнал Ростовчанка : интернет-портал. 2023. №1. URL <https://rostovchanka-media.ru/novostiinformacziya/obshhestvo/o-zarozhdenii-grazhdanskoj-aviaczii-na-donu-1>. Дата публикации: 30.03.2023.
4. Кравец, В.С. Из Хроники Ростовского Объединенного Авиатряда и авиакомпании Донавиа Период до 1912 года / В.С. Кравец // Донской временник. – 2023. – №9.
5. Малыхин, К.Г. Из хроники Ростовского объединенного авиатряда и авиакомпании Донавиа. 1916– 1920 / К.Г. Малыхин // Донской временник. – 2023. – Вып. 31.
6. Карташев, А.В. Модернизация военной авиационной школы в России / А. В. Карташев, А.А. Аникеев // Alma Mater (Вестник высшей школы). – 2012. – № 2. – С. 83-86. – EDN OOVANH.
7. Неизвестные воспоминания В.Г. Баранова об авиации на Дону: Посвящается 100-летию Русской военной авиации / Публ. А.В. Махалина, А.А. Литвина // Российский Архив: История Отечества

в свидетельствах и документах XVIII-XX вв.: Альманах. – М.: Студия ТРИТЭ: Рос. Архив, 2009.

8. Айдунова, Т.Ю Из Хроники Ростовского Объединенного Авиоотряда и авиакомпании Донавиа 1910 – 1917 / Т. Ю. Айдунова // Донской временник. – 2023. – №9.

УДК 629.7.03

eLIBRARY.RU: 55.42.47

**Пушкин Д.С.**

**Pushkin D.S.**

ассистент кафедры  
МГТУ ГА, г. Москва

## **ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ДАННЫХ ТУРБОВАЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ РАЗРАБОТОК И ПОДХОДОВ**

### **EVALUATION OF THE BASIC DATA OF TURBOSHAFT ENGINES: ANALYSIS OF RUSSIAN DEVELOPMENTS AND APPROACHES**

**Аннотация.** В докладе представлен анализ научных работ российских учёных, посвящённых разработке методик оценки ключевых характеристик турбовальных двигателей за последние годы. Также поставлены задачи, необходимые для разработки отечественной методики.

**Ключевые слова:** авиация, турбовальный двигатель, математическая модель, анализ, исследования.

**Abstract.** The report presents an analysis of scientific works by Russian scientists devoted to the development of methods for evaluating key characteristics of turboshaft engines in recent years. The tasks necessary for the development of a domestic methodology have also been set.

**Keywords:** aviation, turboshaft engine, mathematical model, analysis, research.

Одна из проблем, стоящих перед отраслью разработки и эксплуатации вертолетов, состоит в отсутствии современных методов оценки параметров турбовальных двигателей (ТВаД) в процессе эксплуатации, которые могли бы обеспечить контроль за их техническим состоянием [1]. В текущий момент состояние двигателя

определяется при помощи методов неразрушающего контроля, применяемых для проверки отдельных компонентов двигателя [2]. В наши дни широко распространяется идея импортозамещения многих существующих технологий, и разработка отечественных методик является важным вкладом в развитие современного российского вертолетостроения.

С применением современных технологий и знаний становится возможным создание методов комплексного мониторинга работоспособности двигателя [3]. Развитие вычислительных мощностей компьютеров, нейросетей и цифровизация воздушных судов значительно изменяют доступные для использования расширенных баз данных и математических моделей ресурсы [4]. Разработка методики отслеживания и анализа параметров ТВаД, таких как мощность и расход топлива, после каждого полета, откроет новые перспективы в области эксплуатации и технического обслуживания воздушных судов.

Суть разрабатываемой методики будет заключаться в сочетании математической модели с полетными данными, используемыми в качестве входных данных. При проведении вычислений, разрабатываемая методика будет выводить конечные результаты в виде графиков и таблиц, отображающих показатели мощности и удельного расхода.

Базы данных, созданные на основе таких методик, предоставят возможность не только внедрения новых методов учета ресурсов для каждого двигателя в индивидуальном порядке, но и для разработки нового поколения ТВаД [5].

### **Литература**

1. Диагностическая модель вертолетного турбовального двигателя / В.П. Кажяев, Д.Ю. Киселев, Ю.В. Киселев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 1(111).
2. Ратенко, Д.В. Особенности эксплуатации турбовального двигателя ТВЗ-117 / Д. В. Ратенко, Э.Л. Симкин // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2016. – № 15(326).
3. А.Г. Буряченко, В.М. Грудинкин, Д.С. Бурунов Стенд-имитатор турбовального двигателя АИ-450М для испытаний регулятора двигателя. Метрологическое обеспечение и аттестация стенда // Вісник двигунобудування. 2015. №2.
4. Моделирование характеристик многоступенчатого осевого компрессора турбовального газотурбинного двигателя с учётом нелинейности эрозионного износа его лопаток / В.А. Потапов, А.А.

Санько // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2020. – Т. 23, № 5.  
5. Расчетное исследование характеристики турбовального двигателя с использованием двумерного набора для моделирования компрессора / Л. Бойко, В. Даценко // Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft. – 2021. – № 8-1.

УДК 629.7.067.8  
eLIBRARY.RU: 73.00.00

**Киселев М.А.**

**Kiselev M.A.**

доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой  
МГТУ ГА, г. Москва

**Калюжный Ю.С.**

**Kalyuzhny Y.S.**

начальник лаборатории  
Государственного научно-исследовательского  
института авиационных систем, г. Москва

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОЙ  
РЕКОНФИГУРАЦИИ МАРШРУТА ПОЛЁТА  
ВЕРТОЛЁТА ТИПА МИ-8**

**SOME RESULTS OF OPERATIONAL RECONFIGURATION  
OF THE MI-8 HELICOPTER FLIGHT ROUTE**

**Аннотация.** Проведено тестирование алгоритма оперативной реконфигурации маршрута на примере полета по маршруту вертолета типа Ми-8 с использованием реальной цифровой карты местности. Предлагаемая авторами методика и алгоритмы позволяют оценить безопасность исходного маршрута, рассчитать варианты альтернативных маршрутов облета обнаруженных в процессе полета препятствий, проверить их на реализуемость с учетом летно-технических характеристик воздушного судна, ограничений на управляющие параметры.

**Ключевые слова:** маршрут полета, облет препятствий, безопасность полета, синтез управления, ограничение на управление, топливная эффективность.

**Abstract.** The algorithm for operational route reconfiguration was tested using the example of a flight along the route of a Mi-8 helicopter using a real digital map of the area. The methodology and algorithms proposed by the authors make it possible to assess the safety of the original route, calculate options for alternative routes to fly around obstacles detected during the flight, and test them for feasibility, taking into account the flight performance characteristics of the aircraft and restrictions on control parameters.

**Keywords:** flight route, obstacle avoidance, flight safety, control synthesis, control limitation, fuel efficiency.

Анализ статистики авиационных происшествий (АП) в Российской Федерации с 2011 по 2020 годы<sup>1</sup> позволил выявить категории, составляющие значительную часть происшествий. Исследования, проведенные в ходе расследований этих инцидентов, указывают, что их причины связаны с недостаточной осведомленностью о ситуации и неверными действиями экипажа в условиях высокой психофизиологической нагрузки и ограниченного времени на принятие решений [0] относительно обхода препятствий, таких как опасные метеоусловия [0], искусственные [0] и естественные преграды или запретные зоны.

Авторами был разработан алгоритм [0], обеспечивающий: оценку безопасности исходного маршрута полета, расчет альтернативных безопасных маршрутов, определение оптимальных альтернативных безопасных маршрутов исходя из заданных критериев.

В докладе приводятся результаты практического использования указанного алгоритма для перестроения маршрута полета на примере полета по маршруту вертолета типа Ми-8 [0] с использованием реальной цифровой карты местности [0].

Показано, что, во-первых, полученные в результате работы алгоритма маршруты полета, обеспечивают облет препятствий в выбранной плоскости по выбранному критерию. И, во-вторых, предлагаемые маршруты облета препятствий могут быть реализованы на вертолете типа Ми-8 поскольку удовлетворяют всем установленным для данного воздушного судна ограничениям.

---

<sup>1</sup> Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2020 году. Федеральное агентство воздушного транспорта управление инспекции по безопасности полетов. 2021 год

## Литература

1. Горбунов, В. В. Особенности изменения некоторых психофизиологических показателей летчика при различных режимах труда и отдыха в длительных полетах / В. В. Горбунов // Медицина труда и промышленная экология. – 2009. – № 5. – С. 5-9. – EDN КМКУТН.
2. Шумилов, И.С. Авиационные происшествия. Причины возникновения и возможности предотвращения / И.С. Шумилов. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2006. – 384 с. – ISBN 5-7038-2912-7. – EDN VCQEAB.
3. Богаткин, О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник / О.Г. Богаткин. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2013. – 339 с. – ISBN 978-5-86813-237-7. – EDN RBBAUF.
4. Methodology for plotting the flight planned route change of the aircraft in flight / M.A. Kiselev, Y.S. Kalyuzhny, A.V. Karpov, S.F. Borodkin // Civil Aviation High Technologies. – 2023. – Vol. 26, No. 6. – P. 33-46. – DOI 10.26467/2079-0619-2023-26-6-33-46. – EDN RSSАНН.
5. Володко А. М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолета. – М.: Транспорт, 1988. – 324 с.
6. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): база данных / NASA. URL: <https://dwtkns.com/srtm30m/> (дата обращения 20.12.2023).

УДК 629.7.051.83

eLIBRARY.RU: 47.49.43

**Стукалов С.Б.**

**Stukalov S.B.**

кандидат технических наук, доцент

доцент кафедры

МГТУ ГА, г. Москва

**Костенков В.А.**

**Kostenkov V.A.**

кандидат технических наук, доцент

МГТУ ГА, г. Москва

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ В ЗОНЕ ПОСАДКИ БПЛА

### AUTOMATED OPTOELECTRONIC POSITIONING IN THE UAV LANDING ZONE

**Аннотация.** При посадке беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) могут быть использованы оптико-электронные системы с автоматизированным оптико-электронным позиционированием. Представлены подходы построения системы автоматизированного оптико-электронного позиционирования. Показаны результаты тестовых испытаний бортового комплекса автоматизированного оптико-электронного позиционирования по выполнению этапов автоматической посадки в простых и сложных метеоусловиях.

**Ключевые слова:** оптико-электронные системы, автоматизированное оптико-электронное позиционирование, бортовой комплекс, наземное оборудование.

**Abstract.** When landing unmanned aerial vehicles (UAVs), optoelectronic systems with automated optoelectronic positioning can be used. Approaches to building an automated optoelectronic positioning system are presented. The results of the test tests of the on-board automated optoelectronic positioning system for performing the stages of automatic landing in simple and difficult weather conditions are shown.

**Keywords:** optoelectronic systems, automated optoelectronic positioning, on-board complex, ground equipment.

Для улучшения показателей безопасности полетов БПЛА при посадке могут быть использованы оптико-электронные системы, обеспечивающие автоматизированное оптико-электронное позиционирование на посадочные площадки [1].

#### **Материал и методика**

Разработан макет системы автоматизированного оптико-электронного позиционирования, состоящий из частей бортового и наземного оборудования (рис. 1).



Рис. 1. Макет системы автоматизированного оптико-электронного позиционирования

В составе бортового оборудования используется система, состоящая из камеры видимого и ИК спектров, а также микроЭВМ с возможностью программной обработки изображения подстилающей поверхности. Задачей является определение изображений наземных световых маяков зоны посадки. Методика определения положения точечных источников представляет собой определенную совокупность операций фильтрации и обработки цифрового изображения в реальном времени, которая нужна для постоянного определения точных координат ориентиров посадочной площадки. Фильтрация необходима для обнаружения контуров светосигнальных маяков на посадочной площадке с целью улучшения точности посадки БПЛА. Порядок фильтрации потока с камеры следующий:

- получение изображения с камеры;
- перевод изображения в HSV пространство;
- фильтрация изображения по цвету в HSV пространстве;
- выполнение сглаживания изображения по Гауссу (Gaussian Blurring);
- бинаризация изображения (Otsu Binarization);
- дилатация изображения;
- получение обработанного изображения с выделенными световыми маяками;
- дополнительное применение оператора обнаружения границ изображения Кэнни (Canny).



## Результаты и обсуждение

Результат работы программного кода по обработке изображения во время проведения летных испытаний в дневное и ночное время приведены на рис. 2, 3.



Рис. 2. Изображение посадочной площадки после обработки с помощью программного кода в дневное время

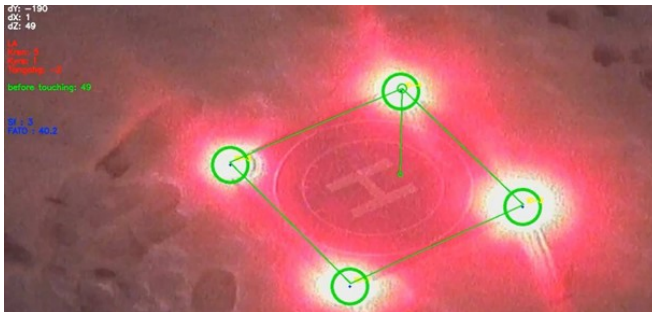


Рис. 3. Изображение посадочной площадки после обработки с помощью программного кода в ночное время

Результаты тестовых испытаний по работе бортового комплекса автоматизированного оптико-электронного позиционирования показали положительные результаты на этапах автоматической посадки в простых и сложных метеоусловиях. Система определяет и отображает в ночное и в дневное время суток светосигнальные маяки, практически без появления ложных меток. Есть возможность фильтровать маяки по цвету и определять, как красные, так и зеленые маяки. Безошибочно определяются необходимые значения для

передачи в полетный контроллер, а также и визуальные данные для посадки.

### **Литература**

1. Стукалов, С.Б. Подходы к обеспечению точной посадки беспилотных летательных аппаратов в улавливающую сеть / С.Б. Стукалов, В.А. Костенков, Р.С. Гаврюшин // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев», 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 13–14 октября 2022 года. Том 2. – Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. – С. 153-160. – EDN LCSBVA.

УДК 629.7

eLIBRARY.RU 55.47.81

**Мальцев Д.С.**

**Maltsev D.S.**

студент

МГТУ ГА, г. Москва

**Родич А.В.**

**Rodich A.V.**

студент

МГТУ ГА, г. Москва

**Середа В.Н.**

**Sereda V.N.**

кандидат технических наук  
старший научный сотрудник

доцент кафедры

МГТУ ГА, г. Москва

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ФАКТОРА СНАРУЖИ И ВНУТРИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

## STATISTICAL ANALYSIS TEMPERATURE-HUMIDITY FACTOR OUTSIDE AND INSIDE THE AIRCRAFT

**Аннотация.** По результатам статистической обработки экспериментальных данных температуры и относительной влажности воздуха получены функции изменения относительной влажности и температуры воздуха в течение суток для месяцев года снаружи и внутри воздушного судна.

**Ключевые слова:** сложные климатические условия, относительная влажность воздуха, температура, коррозионные повреждения, планер, воздушное судно, статистические методы.

**Abstract.** Based on the results of the statistical processing of experimental data on temperature and relative humidity, functions of changes in relative humidity and air temperature during the day were obtained for the months of the year outside and inside the aircraft.

**Keywords:** complex climatic conditions, relative humidity, temperature, corrosion damage, airframe, aircraft, statistical methods.

### Материалы и методы

В атмосферных условиях на коррозию металлов деталей и узлов воздушного судна (ВС) оказывают влияние одновременно несколько непрерывно меняющихся климатических факторов: влажность, температура, солнечная радиация и др. Установлено [1-3], что важнейшим фактором, определяющим возможность протекания коррозионных процессов, является относительная влажность воздуха. Значение относительной влажности, при которой наблюдается резкое возрастание скорости коррозии металла, по предложению Вернона принято называть критической влажностью.

При оценке коррозионной стойкости материалов деталей и узлов ВС в сложных климатических условиях (к ним относят влажные тропический и субтропический климаты) требуется знание не только средних и максимальных значений различных климатических факторов.

Для оценки уровня температурно-влажностного фактора в местах стоянки ВС в одной из стран Юго-Восточной Азии с тропическим климатом в текущем десятилетии был произведен непрерывный

эксперимент длительностью 12 месяцев. Датчики измерения температуры и влажности размещались на стоянке снаружи и внутри ВС.

Анализ результатов поминутной регистрации параметров окружающего воздуха в местах стоянки ВС позволил выделить два характерных периода в течение суток: дневные часы – когда относительная влажность воздуха имеет минимальные значения за сутки, ночные и утренние часы – когда относительная влажность воздуха имеет максимальные значения (рис. 1).

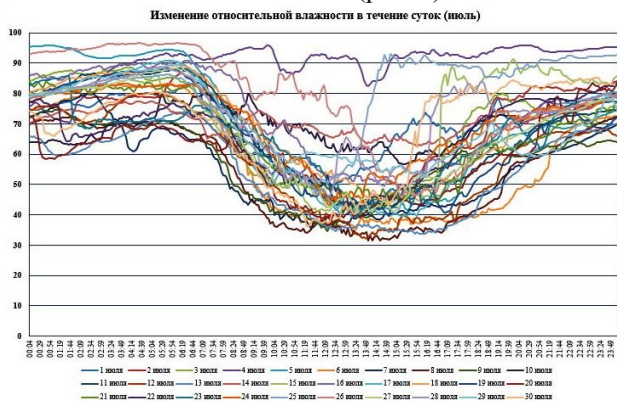


Рис. 1. Изменение относительной влажности снаружи под навесом в течение суток (июль)

В работе относительная влажность в **60%** была принята как критический рубеж для отсеков ВС, находящегося в сложных климатических условиях.

### Результаты и обсуждение

Функции изменения средней относительной влажности и температуры воздуха в течение суток для месяцев года и для каждого из четырех сезонов года с хорошей величиной коэффициента достоверности аппроксимируются полиномами 6 степени. Результаты обработки экспериментальных данных показали, что значения относительной влажности в дневные часы в зимние и осенние месяцы достигают значений, значительно выше критических 60%.

### Литература

1. Акимов Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов. – М.: – Л.: – Изд. АН СССР. – 1945. – 414 с.

2. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. – М.: Изд. АН СССР. – 1960. – 372 с.
3. Розенфельд И.Л., Палуцкая Т.И. О механизме коррозии под тонкими слоями электролитов // Журнал физической химии. – 1957. –Т 31. – Вып. 32. – С. 328-339.

УДК 629.735.33  
eLIBRARY.RU: 55.47.81

**Меликова М.Б.**  
**Melikova M.B.**

кандидат психологических наук,  
начальник сектора  
Летно-исследовательский институт  
имени М.М. Громова, г. Жуковский

## **ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ТИПОЛОГИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

### **ERGONOMICAL TYPOLOGY OF CONTROLLED OBJECTS**

**Аннотация.** В докладе рассмотрены проблемы обновления системы эргономических требований к авиационной технике (АТ). Введено понятие эргономических типов объектов управления и предложена их классификация.

**Ключевые слова:** эргономические факторы ошибок, взаимодействие «летчик-самолет», эргономические требования.

**Abstract.** The report deals with the problem of renewal of aircraft design human factors requirements. A concept of ergonomic types of controlled objects is introduced together with their classification.

**Keywords:** design-related errors, pilot-vehicle interaction, ergonomic requirements.

*Постановка задачи.* Новые нормы летной годности самолетов и вертолетов выделяют особую категорию ошибок экипажа, вызванных проектировочными решениями (design-induced error). В отечественных НЛГ в 2015 введен параграф 25.1302 [1]. Рекомендательный циркуляр АС25.1302-1, в котором изложена проблема технических причин ошибок летчиков, не переведен. Актуальным направлением развития эргономического обеспечения АТ является создание соответствующей методологии выявления и устранения технических причин нарушения взаимодействия «летчик-самолет». *Методологический подход.*

Эргономические требования (ЭТ) должны отражать влияние, оказываемое новыми технологиями на человеко-машинное взаимодействие. Эргономические факторы трансформации деятельности (ЭФТД) летчиков, затрагивающей систему навыков и умений, которые не вошли в ЭТ, служат техническими предпосылками неправильных действий экипажа. Анализ ЭФТД основан на общем принципе предметной обусловленности пространственно-временной структуры действий летчика.

Трансформация летной деятельности обнаруживается в новых способах выполнения базовых задач (ориентировка и пилотирование, обнаружение и нейтрализация технических неисправностей, совмещение базовых и специальных задач), включая проблему появления новых видов отказов техники. Меняется структура регулятора действий (образа полета), структура управляющих действий, координация восприятия и действия, координация управляющих действий, информационный поиск.

Нами выделено несколько эргономических типов объектов управления, различающиеся по форме человеко-машинного взаимодействия: 1) традиционный объект управления (самолеты с минимальным уровнем автоматизации), 2) комплексный объект управления (высокоавтоматизированные самолеты) [2], 3) дистанционные объекты управления (беспилотные летательные аппараты), 4) распределенные объекты управления (группы ЛА), 5) «эмерджентные» объекты управления (изменение поведения, ресурсов управления в результате критической ситуации), 6) переменный объект управления (ЛА с реконфигурируемой СУ, моделирующий поведение разных типов ЛА), 7) полунатурные объекты управления (наземные тренажеры, имитирующие полет).

В докладе приведена история введения пункта 25.1302 в НЛГ, рассмотрены особенности предметных регуляторов действий летчика, соответствующих данным объектам управления, приведены примеры анализа предметной регуляции структуры управляющих действий летчика (структурно-инвариантный метод оценки подобию взаимодействия «летчик-самолет») [3].

*Выводы.* Взаимодействие летчика с различными эргономическими типами объектов управления предполагает создание особых интерфейсов, поддерживающих данные формы взаимодействия, и обновление эргономических требований к средствам взаимодействия.

## **Литература**

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности гражданских самолетов транспортной категории (АП-25). 5-е изд., с поправками 1-8. – М.: Авиаиздат, 2015. – С.148.
2. Меликова, М.Б. Эргономические факторы безопасности полетов высокоавтоматизированных ЛА / М. Б. Меликова // Идеи К.Э. Циолковского в контексте современного развития науки и техники : Материалы 53-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 18–19 сентября 2018 года. – Калуга: Издательство АКФ «Политоп», 2018. – С. 231-232. – EDN ММТФСР.
3. Способ инженерно-психологической оценки подобия объектов управления на основе анализа характеристик взаимодействия «летчик-самолет»: Патент RU 2743958 С1. Заявка от 18.08.2020 / Меликова М.Б. с соавт.

УДК: 629

eLIBRARY.RU: 55.47.01

**Боков С.Р.**

**Vokov S.R.**

преподаватель

МГТУ ГА, г. Москва

**Ефимов В.В.**

**Efimov V.V.**

доктор технических наук, доцент

профессор кафедры

МГТУ ГА, г. Москва

**Лазин И.Ю.**

**Lazin I.U.**

преподаватель

МГТУ ГА, г. Москва

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

### **THE CIVIL AVIATION UNMANNED AIRCRAFT CARGO TRANSPORTATION PROBLEMS ANALYSIS**

**Аннотация.** Беспилотные воздушные суда имеют потенциал для транспортировки грузов. Для успешного внедрения их на рынок

необходимо определить тип БВС для эффективной и безопасной эксплуатации. По результатам исследования авторами был определен тип БВС, а также круг задач, рекомендуемых к решению для введения в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** беспилотное воздушное судно, перевозка грузов, груз на внешней подвеске.

**Abstract.** Unmanned aerial vehicles have potential for goods transportation. To successfully introduce them to the market, it is necessary to determine the type of UAV for efficient and safe operation. Based on the results of the study, the authors determined the type of UAV, as well as the range of tasks recommended for solution for commissioning.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, cargo transportation, cargo on an external sling.

Использование БВС имеет положительный тренд. На сегодняшний день БВС уже нашли свое применение во многих сферах [1]: логистика, внутрипроизводственное применение, беспилотный транспорт и аэротакси, строительство, сельское хозяйство, электроэнергетика, программный мониторинг и электронная карта линий электропередач, нефтегазовый сектор, экологический мониторинг, безопасность, чрезвычайные ситуации, кинематограф.

Несмотря на это, выполнение задач осложнено наличием различных барьеров, препятствующих активному законному использованию БВС в воздушном пространстве на территории Российской Федерации [2].

Можно заметить, что большая часть задач, выполняемых с помощью ВС, предполагает перевозку грузов внутри фюзеляжа (пилотируемые ВС и БВС) или с помощью внешней тросовой подвески ВС (пилотируемые ВС). При этом на данный момент не существует услуги отечественной организации по перевозке груза на внешней тросовой подвеске БВС.

На сегодняшний день доставка с помощью БВС является одним из ключевых и перспективных направлений, над которыми ведутся работы по всему миру. Наиболее выгодно, используя преимущества БВС мультироторного типа, внедрить их в городскую среду, так как в крупных городах наблюдается наибольший спрос на услугу доставки малогабаритных грузов. Для этого необходимо доказать безопасность эксплуатации БВС.

Доставлять грузы с помощью БВС можно разными путями, но не все из них безопасны и эффективны. Среди них можно выделить вариант доставки грузов с помощью внешней тросовой подвески с



замком отцепления. При использовании замка отцепления груз может отпущен около земли, после чего БВС вернется к отправителю, а получатель сможет безопасно получить груз. Этот вариант представляется наиболее безопасным и эффективным.

Для доказательства безопасности и эффективности перевозки грузов с помощью БВС мультироторного типа на внешней подвеске предлагается создать математическую модель «БВС – трос – груз», на основе которой определить ограничения ожидаемых условий эксплуатации.

### **Литература**

1. Сферы применения беспилотных летательных аппаратов // Геоскан Пионер. Документация URL: <https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/basemodule/sphere/sphere.htm> 1 (дата обращения: 28.02.2024 г.).
2. Боков С.Р. Перспективы применения беспилотных воздушных судов для перевозки грузов / С.Р. Боков, В.В. Ефимов // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. – Москва: ИД Академии имени Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 136-137. – EDN JPKWSS.

УДК 338.4

eLIBRARY.RU: 06.73.21

**Столяров Н.С.**

**Stolyarov N.S.**

Заслуженный экономист РФ  
доктор экономических наук, профессор  
главный научный сотрудник  
ГосНИИ ГА, г. Москва

**Фридланд А.А.**

**Friedland A.A.**

доктор экономических наук  
кандидат технических наук  
директор Центра научного обеспечения  
государственной политики в области  
гражданской авиации ФГУП ГосНИИ ГА

# ИНТЕГРАЦИЯ ESG-ПРИНЦИПОВ В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАКОМПАНИЙ

## INTEGRATION OF ESG-PRINCIPLES IN AIRLINE OPERATIONS

**Аннотация.** Повышение эффективности воздушного транспорта посредством интеграции в деятельность авиакомпаний принципов ESG рассматривается в статье не как новомодный тренд, а как ответственное отношение к окружающей среде, высокая социальная ответственность и качество корпоративного управления. Сравняется отечественный и зарубежный опыт, анализируются трудности на пути внедрения ESG-стратегий в авиацию и воздухоплавание.

**Ключевые слова:** ESG-принципы, окружающая среда, декарбонизация, социальная ответственность, корпоративное управление, эффективность деятельности авиакомпании.

**Abstract.** Improving the efficiency of air transport through the integration of ESG principles into airline operations is considered in the article not as a newfangled trend, but as a responsible attitude to the environment, high social responsibility and quality of corporate governance. The author compares domestic and foreign experience, analyzes the difficulties in implementing ESG strategies in aviation and aeronautics.

**Keywords:** ESG principles, environment, decarbonization, social responsibility, corporate governance, airline performance.

Как следует из результатов исследования, внедрение ESG-стандартов в деятельность крупных компаний России, сформулированных ООН почти 20 лет назад, находится лишь на начальной стадии. Авиация и воздухоплавание в этом деле не являются исключением [1].

**1. Ответственное отношение к окружающей среде (E)** – имманентная проблема авиатранспортной отрасли. Декарбонизация потребует от авиакомпаний огромных усилий и расходов. За последние годы авиационная отрасль многое сделала для обеспечения экологической безопасности на воздушном транспорте, однако ситуацию в этой сфере нельзя признать благополучной. Основными сдерживающими факторами формирования ответственного отношения к окружающей среде являются несовершенство нормативной правовой базы в области экологической безопасности, формируемой на федеральном уровне, и связанные с этим неопределенности в финансировании природоохранительной деятельности. Воздушному

транспорту нужна функциональная экологическая политика, строжайшее и повсеместное экологическое аудирование.

**2. Социальная ответственность (S)** означает высокую социальную ответственность компании перед персоналом, клиентами, бизнес-партнерами. Нельзя утверждать, что здесь у нас все складывается нормально, так как существует проблема оттока квалифицированного персонала в иностранные авиационные компании: количество обращений пилотов в иностранные авиакомпании по подтверждению действующего свидетельства специалиста авиационного персонала, в том числе от авиационных властей иностранных государств, составляет до 70 обращений в месяц [2].

### **3. Высокое качество корпоративного управления (G).**

Ориентация авиакомпаний на долговременный успех вызвала к жизни *корпоративную культуру* в управлении человеческими ресурсами: персонал, обладающий знаниями, навыками, компетенциями, необходимыми для решения профессиональных задач, рассматривается как важнейший производственный ресурс, главный источник прибыли компании. Работодатель, понимая это, бережно относится к кадрам, проявляет по отношению к ним деятельную заботу. И наоборот: там, где работодатель игнорирует эту парадигму нового времени, там долговременный коммерческий успех вряд ли возможен.

**Резюме.** Интеграция ESG-принципов в деятельность авиакомпаний поднимет престиж отечественной авиации и позволит России возродить статус мировой авиационной державы.

### **Литература**

1. Стратегическое управление развитием экономического потенциала воздушного транспорта: теория и практика: монография / С.С. Демин, А.А. Семенова, Н.С. Столяров, А.А. Фридлянд; под ред. Н.С. Столярова. – Москва: РУСАЙНС, 2022. –С. 172-177.
2. Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 июня 2022 г. №1693-р.

УДК 621.37  
eLIBRARY.RU: 47.00.00

**Сергеев А.Д.**  
**Sergeev A.D.**  
студент МГТУ ГА  
**Небаракон А.Д.**  
**Nebarakov A.D.**  
студент МГТУ ГА  
научный руководитель:  
**Адамов Д.С.**  
**Adamov D.S.**  
старший преподаватель  
МГТУ ГА, г. Москва

**МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИОВЫСОТОМЕРА РВ-85  
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СПЕЦИФИЧЕСКИХ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**MODERNIZATION OF THE RV-85 RADIO ALTIMETER DURING  
OPERATION IN SPECIFIC METEOROLOGICAL CONDITIONS**

**Аннотация.** В работе освещена проблема, связанная с нестабильной работой радиовысотомера, вызванной эксплуатацией в сложных метеоусловиях. Усовершенствование радиовысотомера, путем добавления дополнительного фильтра с датчиком, позволит решить проблему влияния помех на его рабочие параметры, и как следствие - определение истинной высоты полета ВС.

**Ключевые слова:** радиовысотомер, авиационное происшествие, метеоминимум, усилительное звено.

**Abstract.** The paper highlights the problem associated with the unstable operation of the radio altimeter caused by operation in weather conditions below the meteorological minimum. The improvement of the radio altimeter, by adding an additional filter with a sensor, made it possible to solve the problem of the influence of interference on its operating parameters, and as a result, the determination of the true altitude of the aircraft.

**Keywords:** radio altimeter, MAC report, conditions worse than minimum, amplifying link.

К авиационному происшествию (АП) Ту-204-100, произошедшему 22.03.2010, согласно отчёту МАК [1] привела ошибочная индикация истинной высоты радиовысотомером РВ-85.

Изучив принцип действия радиовысотомера РВ-85, авторы сделали вывод, что проблема находится в цепи схемы «Модулятор-ПРД-ПРМ-Управитель» на основе определения значения разностной частоты на выходе БС:

$$F_p = \frac{2H \times \Delta f_{\text{эт}}}{c \times T_{\text{и}}}, \quad (1)$$

где

$H$  – высота полета;

$T_{\text{и}}$  – период перестройки частоты ПРД.

Так как управитель влияет на скорость перестройки частоты ПРД [2], а также обеспечивает подстройку гетеродина в ПРМ, влияя на полосу частотной модуляции в модуляторе, следует вывод, что к АП привела перестройка частоты  $T_{\text{и}}$ , которая уменьшилась при увеличении частоты на выходе ФНЧ в схеме АПЧ управителя, в следствие увеличения статической ошибки в ФНЧ, под воздействием внешнего возмущения магнитного поля, а именно изменение поляризации и кривизны линий магнитного поля, что привело к увеличению частоты на входе в ФНЧ. Для уменьшения статической ошибки предлагается следующее решение: увеличить коэффициент передачи  $K_{\phi}$  в ФНЧ (для повышения устойчивости к внешним возмущениям магнитного поля), путем включения усилительного звена в математическую модель фильтра.

Для включения резервного фильтра в цепь, авторами предложена модернизированная схема, изображенная на рис. 1, с добавлением датчика внешних возмущений и модернизированного ФНЧ (с усилительным звеном).

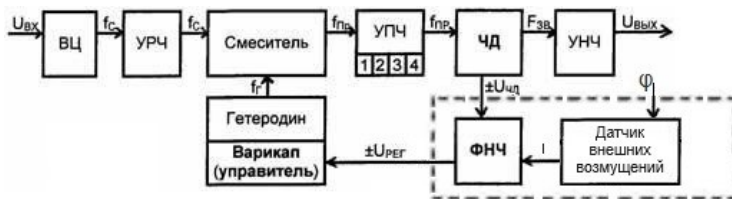


Рис. 1. Модернизированная структурная схема АПЧ управителя с изменным фильтром

В результате добавления нашего фильтра, устойчивость системы, согласно критерию Гурвица, сохранится, а статическая ошибка следящей системы уменьшится.

### **Литература**

1. Doc report\_ra-64011. Окончательный отчет по результатам расследования авиационного происшествия // Межгосударственный авиационный комитет: офиц. сайт. URL: [https://mak-iac.org/upload/iblock/43c/report\\_ra-64011.pdf](https://mak-iac.org/upload/iblock/43c/report_ra-64011.pdf) (дата обращения 30.05.2024).
2. Автоматическаястройка частоты гетеродина. Poznavka.org : сайт научных публикаций. URL: <https://poznayka.org/s30693t1.html> (дата обращения 30.05.2024).

УДК 351.814.33  
eLIBRARY.RU: 73.37.11

**Дармограев М.С.**  
**Darmograev M.S.**  
аспирант  
МГТУ ГА, г. Москва

## **АЛГОРИТМ РАБОТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДОПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ СБЛИЖЕНИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВОЗДУХЕ ПРИ ОТСУТСТВИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА БОРТУ**

## **THE ALGORITHM OF THE FUNCTIONAL COMPLEMENT OF THE WARNING SYSTEM FOR DANGEROUS APPROACHES OF AIRCRAFT IN THE AIR IN THE ABSENCE OF SECONDARY RADAR EQUIPMENT ON BOARD**

**Аннотация.** Современные летательные аппараты (ЛА) имеют на борту необходимое оборудование, которое позволяет значительно снизить риск столкновения воздушных судов (ВС), оснащенных ответчиками систем вторичной радиолокации, но не решает проблемы наблюдения за ЛА, не имеющих ответа во вторичном канале. Проблему возможно решить путем внедрения предложенного функционального дополнения, которое способно выстраивать

траекторию полета ЛА для обеспечения установленного эшелонирования.

**Ключевые слова:** приёмответчик вторичной обзорной радиолокации, безопасность полетов, система предупреждения об опасном сближении воздушных судов, индикатор воздушной обстановки.

**Abstract.** Modern aircraft (hereinafter referred to as aircraft) have the necessary equipment on board, which significantly reduces the risk of collision of aircraft (hereinafter referred to as aircraft) equipped with a secondary radar system, but does not solve the problem of monitoring aircraft that do not have a response in the secondary channel. The problem can be solved by implementing the proposed functional addition, which is able to build the flight path of the aircraft to ensure the established separation.

**Keywords:** secondary surveillance radar transponder, flight safety, aircraft dangerous approach warning system, air situation indicator.

### Цели и задачи

Основной целью работы является обеспечение экипажей гражданских самолетов информацией о движении рядом летящих объектов, независимо от оборудования, находящегося на борту других ВС, в радиусе, необходимом для обеспечения соблюдения установленных интервалов эшелонирования согласно законодательству Российской Федерации [1].

Для решения проблемы отсутствия информации о движении самолетов было разработано функциональное дополнение системы предупреждения об опасных сближениях в воздухе при отсутствии оборудования вторичной радиолокации на борту ЛА, находящихся рядом с ВС, имеющими приёмответчик. Данная программа выстраивает траекторию движения всех объектов, сближение с которыми может привести к нарушению установленных интервалов. Их параметры перемещения, такие как курс и маршрут полета, эшелон следования, приборная и путевая скорость, первоначальное местоположение и т.д. экипаж получает от специалиста по обслуживанию воздушного движения для внесения в бортовой компьютер [2]. Далее система самостоятельно рассчитывает зависимость координаты наблюдаемой цели от времени, используя основные уравнения кинематики, проецируя полученные результаты на ось абсцисс и ординат и вычисляя векторную сумму полученных проекций, благодаря чему экипаж имеет данные о движении других ВС, отображаемую на борту. При необходимости, авиадиспетчер

может выдавать информацию о местоположении наблюдаемого объекта через определенный интервал времени для повышения точности определения его местоположения.

Таким образом, благодаря использованию предложенного функционального дополнения становится возможным осуществление бесконфликтного обслуживания воздушного движения и упорядочивание потоков ВС.

### **Литература**

1. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 21.06.2023) «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».
2. Приказ Минтранса РФ от 25 ноября 2011 г. N 293 "Об утверждении Федеральных авиационных правил «Организация воздушного движения в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).

УДК 629.7.01

eLIBRARY.RU: 73.37.01

**Печейкина М.А.**

**Pecheykina M.A.**

старший преподаватель

Национальный исследовательский  
университет «МЭИ», г. Москва

**Раков Д.Л.**

**Rakov D.L.**

кандидат технических наук

старший научный сотрудник  
института машиноведения

им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ**

### **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MANNED AIRCRAFT WITH ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS**

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективы развития самолетов с электрическими двигательными установками (ЭДУ). Для структурного синтеза использовался морфологический подход, а для



параметрического математического моделирования программа Lane для расчета спектра характеристик летательных аппаратов (ЛА).

**Ключевые слова:** самолеты с электрическими двигательными установками, моделирование, морфологическая матрица решений.

**Abstract.** The article discusses the prospects for the development of aircraft with electric propulsion systems. For structural synthesis, a morphological approach was used, and for parametric mathematical modeling, the Lane program for calculating the data spectrum of aircraft.

**Keywords:** aircraft with electric propulsion systems, modeling, morphological matrix of solutions.

В последнее десятилетие технические решения (ТР) ЛА, использующих ЭДУ для создания тяги становятся все более востребованными [1,2]. Развитие пилотируемых летательных аппаратов с электрическими двигательными установками представляет собой один из наиболее перспективных направлений в современной авиационной индустрии. Применение электрических двигателей позволяет существенно снизить уровень шума, выбросы вредных веществ и расход топлива, что делает такие летательные аппараты более экологически чистыми и экономичными (рис. 1).



Рис. 1. Демонстратор технологии [1,2]

### Материалы и методы

Одним из ключевых преимуществ ЭДУ является их высокая эффективность и надежность, а также возможность использования аккумуляторных или гибридных энергетических систем. Благодаря этому, пилотируемые ЛА с ЭДУ могут иметь ряд преимуществ. Дальнейшее развитие электрических двигателей и аккумуляторов позволит создать более компактные, маневренные и эффективные летательные аппараты. Такие ЛА могут найти применение в различных областях, например, воздушные такси, доставка грузов и т.п.

Существует несколько критических технологий, которые необходимы для развития электрических самолетов, а именно литий-

ионные аккумуляторы и электрические двигатели. Эффективные и легкие аккумуляторы являются ключевым компонентом ЛА. Они должны обеспечить высокие энергетические характеристики плотности и длительный срок службы.

### Результаты и обсуждение

Для структурного синтеза перспективных ТР ЛА с ЭДУ использовался морфологический подход [3,4], а для параметрического математического моделирования разработанная авторами программа Lane для расчета спектра данных ЛА (рис. 2) [5].

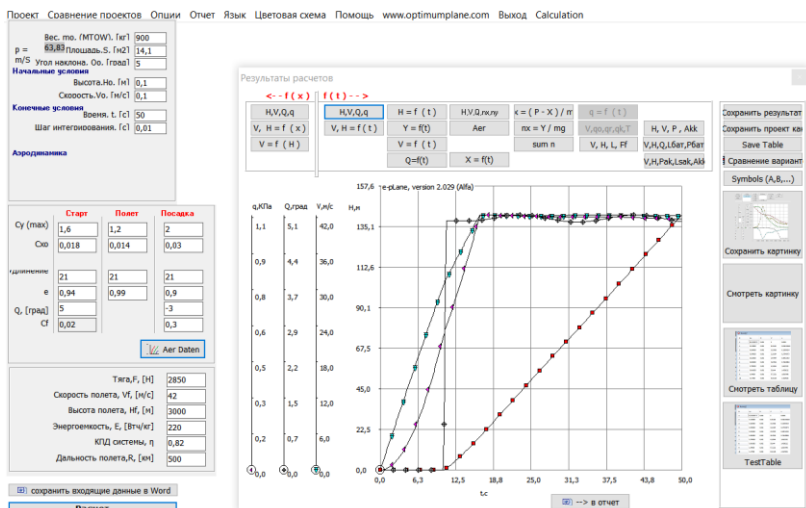


Рис. 2. Траекторные характеристики ЛА с ЭДУ (экранная форма)

Таким образом, развитие пилотируемых ЛА с ЭДУ открывает новые перспективы для авиационной индустрии и может привести к созданию более экологически безопасных и эффективных воздушных средств передвижения.

### Литература

1. Brelje J., Joaquim R.R.A. Martins J. Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches // Progress in Aerospace Sciences. – 2019. – Pp. 1-19.

2. Clarke S., Redifer M., Papathakis K., Samuel A., Foster T. X-57 power and command system design // IEEE Transportation and Electrification Conference and Expo, – 2017. – Pp. 393-400.
3. Половинкин А.И. Автоматизация поискового конструирования. – М.: Радио и связь, 1981. – 368 с.
4. Zwicky F. Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach, 1969.
5. Rakov D. Development of Lane software for the modelling complex engineering systems in Aerospace // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Pp.1-6.

УДК 551.508.855  
eLIBRARY.RU: 73.37.17

**Галаева К.И.**

**Galaeva K.I.**

кандидат технических наук

старший преподаватель

МГТУ ГА

**Медведева А.С.**

**Medvedeva A.S.**

студент МГТУ ГА

**Дрис И.И.**

**Dris I.I.**

студент

МГТУ ГА, г. Москва

**ОПТИМИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ГРАДА  
В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАЦИОННОМ  
КОМПЛЕКСЕ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ  
ДЛЯ ЗАДАЧ АЭРОНАВИГАЦИИ**

**OPTIMIZATION OF HAIL CLASSIFICATION CRITERIA IN THE  
METEOROLOGICAL RADAR COMPLEX OF THE NEAR ZONE  
FOR AIR NAVIGATION TASKS**

**Аннотация.** Обоснована актуальность корректного диагностирования града метеолокаторами для задач аэронавигации. Представлены классификации града в наземных и бортовых метеорологических радиолокаторах. Показаны недостатки текущей классификации града и предложена оптимизация критерия

классификации путём введения информации о характеристиках водности атмосферы.

**Ключевые слова:** град, метеорологический радиолокатор, классификация града, авиационные случаи.

**Abstract.** The relevance of the correct diagnosis substantiates of hail by weather radars for air navigation tasks. The classifications of hail in ground and on-board weather radars are presented. The disadvantages of the current classification of hail are shown and optimization of the classification criterion is proposed by introducing information on the characteristics of atmospheric water content.

**Keywords:** hail, weather radar, classification of hail, aviation accidents.

### Актуальность исследования

К неблагоприятным метеоусловиям авиации относится град, по причине которого было зарегистрировано несколько авиационных событий [1]. Например, 20.07.2020 г. Самолёт Ан-24РВ попал в зону града, разрушение самолёта показано на рис. 1.



Рис. 1. Разрушение носа обтекателя локатора самолета Ан-24РВ

Следовательно, необходимо корректно определять явления града, что позволит предотвратить авиационные события.

### Классификация града в метеолокаторах

Одним из эффективных определителей града является бортовой и наземный метеолокатор. Классификация критериев града идентична в бортовых и наземных радиолокаторах и производится по комплексному критерию, включающему пороговые значения высот относительно верхней границы облачности (ВГО) и уровня нулевой изотермы и значения радиолокационной отражаемости – табл. 1 [2, с. 57; 3, с. 78].

Таблица 1. Классификация града в бортовых и наземных метеолокаторах на примере МРЛК БЗ «Монокль»

Наименование критерия и единицы измерений	Допустимый интервал значений
Пороговое значение разности высот ВГО и нулевой изотермы, м	1500...4500
Максимальное значение радиолокационной отражаемости по всему объёму облака, dBZ	40...67

### Результаты и обсуждение

Несмотря на существующие критерии града в бортовых и наземных метеолокаторах, оправдываемость таких данных остаётся недостаточной. Так, например, 15.04.2024 г. над Москвой прошёл вторичный фронт, наблюдались мощные кучево-дождевые облака, сопровождающиеся градом. Однако случаи града не были выявлены бортовыми и наземными метеолокаторами. Всё это указывает на то, что текущие критерии классификации града действующих метеолокаторов необходимо оптимизировать. Существующую классификацию града можно улучшить за счёт использования данных вертикально-интегрированной водности VIL.

VIL – это полученная метеолокатором оценка водности, основанная на предположениях об отражательной способности [4, с. 2]. VIL может предоставить более широкие возможности для оценки вероятности града.

### Литература

1. Авиационные происшествия и инциденты. // ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»: официальный сайт. URL: <http://www.aviamettelecom.ru/activity/airweather/> (дата обращения: 30.03.2024).
2. Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С на сети Росгидромета. – Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО», 2013. – 164 с.
3. Специальное программное обеспечение. Автоматизированное рабочее место метеорологического радиолокационного комплекса. Руководство оператора 643.МАНФ.59901-01 34 01. – 2014. – 79 с.
4. Douglas R. Greene, Robert A. Clark Vertically Integrated Liquid Water – A New Analysis Tool – 1972. – 5 с.

**Власова А.В.**  
**Vlasova A.V.**  
кандидат технических наук  
доцент кафедры  
МГТУ ГА, г. Москва

**ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЙ  
СЛУЖБЫ АЭРОПОРТА КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ**

**THE ORGANIZATION OF THE AIRPORT ORNITHOLOGICAL  
SERVICE ACTIVITIES AS A FACTOR OF ENSURING  
FLIGHT SAFETY**

**Аннотация.** В докладе рассматривается значимость организации деятельности орнитологической службы аэропорта в контексте обеспечения безопасности полетов. Работа имеет практическое значение для аэропортов и может быть использована при разработке мер по повышению безопасности полетов.

**Ключевые слова:** орнитологическое обеспечение полетов, безопасность полетов, аэропорт, аэродром.

**Abstract.** The report examines the importance of organizing the activities of the airport's ornithological service in the context of ensuring flight safety. The work has practical significance for airports and can be used in the development of measures to improve flight safety.

**Keywords:** ornithological flight support, flight safety, airport, airfield.

Организация деятельности орнитологической службы аэропорта является неотъемлемой частью системы обеспечения безопасности полетов [1]. Эффективная работа специалистов орнитологической службы позволяет своевременно выявлять и предотвращать угрозы, связанные с наличием птиц на территории аэропорта, и обеспечивать безопасность полетов воздушных судов.

**Материалы и методы**

Для каждого региона имеются свои особенности орнитологической обстановки, связанные с путями миграций птиц, среды вокруг аэропорта (наличие свалок, болотистой местности, полей и прочих объектов, привлекающих птиц). Поэтому для аэропортов различных

регионов необходимо применять различные методы отпугивания птиц в зависимости от орнитологической обстановки в районе аэропорта [2]. По данным Росавиации, ежегодно количество птиц в районе аэродромов страны увеличивается, но худшая ситуация наблюдается в южном регионе страны [3]. Это объясняется большим количеством путей миграции птиц в этом регионе. Далее рассмотрен в качестве примера аэропорт Минеральные Воды как один из сложных с точки зрения орнитологической обстановки. Количество взлетно-посадочных операций аэропорта Минеральные Воды возросло с 2019 года по 2023 год более чем в два раза (с 10023 по 20090).

По формуле (1) можно рассчитать условную вероятность возникновения инцидента:

$$P_{ин} = \frac{ни}{пст} \quad (1)$$

где

ни – количество инцидентов;

пст – количество столкновений с птицами.

Таблица 1. Условная вероятность возникновения инцидента в аэропорту Минеральные Воды

Год	2019	2020	2021	2022	2023
$P_{ин}$	0,11	0,1	0	0,17	0,3

Условная вероятность имеет тенденцию к увеличению, поэтому необходимо вводить дополнительные методы по отпугиванию птиц в районе аэродрома, а также скорректировать систему управления безопасностью полетов.

### Результаты и обсуждение

С учетом анализа работы служб исследуемого аэропорта, рекомендуется создание орнитологической службы и соответственно создания СУБП службы в рамках СУБП поставщика услуг – главного оператора аэродрома.

Орнитологический блок СУБП аэропорта может состоять из следующих этапов:

1. Анализ орнитологической обстановки;
2. Визуальный и радиолокационный контроль;
3. Выявление возникновения опасных факторов;
4. Выявление перехода опасных факторов в факторы риска;
5. Применение средств отпугивания;
6. Анализ результатов применения средств отпугивания;
7. Окончание процедуры либо повторение процедуры.

## **Литература**

1. Doc 10004. Глобальный план обеспечения безопасности полетов 2017-2019 // Международная организация гражданской авиации : офиц. сайт. URL: [https://www.icao.int/safety/Documents/10004\\_ru.pdf](https://www.icao.int/safety/Documents/10004_ru.pdf) (дата обращения: 12.05.2024).
2. Власова, А. В. Проблемы орнитологической службы обеспечения полетов, и пути их решений / А. В. Власова // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 511-512. – EDN RKIGID.
3. Статистика столкновений с птицами и другими животными // Федеральное агентство воздушного транспорта : офиц. сайт. URL: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-bezopasnost-poletov-stolknoveniya-ptici-stat/> (дата обращения: 12.05.2024)

УДК 629.735.33

eLIBRARY.RU: 73.37.17

**Сары Асуде**

**Sari Asude**

студентка

МГТУ ГА, г. Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УТОМЛЯЕМОСТИ ОПЕРАТОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

### **INVESTIGATION OF OPERATOR FATIGUE IN UNMANNED AERIAL VEHICLES**

**Аннотация.** Данное исследование было проведено с целью изучения показателей утомляемости оператора беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Исследовались самочувствие, активность, настроение, концентрация внимания, артериальное давление, пульс, число ошибок в зависимости от времени работы при пилотировании БПЛА на компьютерном симуляторе. Выявлены проблемы, связанные с увеличением количества ошибок, снижением показателей самочувствия и настроения, снижением концентрации внимания.



**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, человеческий фактор, ошибка, усталость, внимание.

**Abstract.** This study was conducted to examine the fatigue performance of an unmanned aerial vehicle operator. We studied well-being, activity, mood, concentration, blood pressure, pulse, and the number of errors depending on the operating time when piloting an unmanned aerial vehicle on computer simulator. Problems have been identified related to the number of errors increase, indicators of well-being and mood decrease, and concentration decrease.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, human factor, error, fatigue, attention.

Утомляемость оператора БПЛА может быть вызвана различными факторами, такими как длительное пребывание в одной позе, вызывающее мышечное напряжение, или стресс, связанный с высоким уровнем ответственности. Для снижения утомляемости оператора БПЛА важно обеспечить комфортные условия работы, включая удобное рабочее место, эргономичное оборудование, достаточное освещение и перерывы для отдыха [1].

В работе было проведено исследование таких показателей утомляемости и функционального состояния как самочувствие, активность, настроение, концентрация внимания, артериальное давление и пульс в зависимости от времени работы. Также исследовалось число ошибок. Исследование проводилось в группе количеством 17 человек при пилотировании БПЛА на компьютерном симуляторе. Группа делилась на операторов БПЛА с небольшим и средним опытом полетов.

Были сделаны следующие выводы:

1. Число ошибок. У операторов с большим опытом работы число ошибок увеличивается в 2,9 раз через полчаса после начала работы. После перерыва число ошибок снижается практически до начального уровня. Через полчаса после перерыва число ошибок возрастает в 2,3 раза. Поэтому рекомендуется организовать работу оператора БПЛА по полчаса, а затем делать перерыв. У операторов с небольшим опытом практически нет изменений в течение часа, так как первые полчаса ошибки связаны с недостатком опыта полетов.

2. Тест Шульте (концентрация внимания). Время выполнения теста Шульте наибольшее в первом измерении, что может быть связано с тем, что тест делается впервые. Далее значения снижаются. С увеличением времени работы наблюдается незначительное увеличение

времени выполнения теста и, соответственно, снижение концентрации внимания.

3. Артериальное давление и пульс. Не обнаружено зависимости изменения артериального давления и пульса от времени работы.

4. Тест САН (самочувствие, активность, настроение). У операторов с большим опытом значения по шкале самочувствие и настроение за время измерения 3 часа 15 минут в среднем снижаются. Показатель активности не меняется. У части тестируемых с увеличением времени работы значения по показателям самочувствия и активности повысились. У операторов с небольшим опытом значения по шкале самочувствие и настроение в среднем снижаются. Показатель активности увеличивается.

Полученные результаты могут быть применены при планировании режима труда и отдыха в целях более эффективного использования БПЛА.

### **Литература**

1. Сыпачев, В.С. Компетенции необходимые оператору беспилотных летательных аппаратов / В.С. Сыпачев, А.А. Михалев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т. 3, № 4(14). – С. 571-573.

УДК 629.7.083.03

eLIBRARY.RU: 73.37.41

**Николайкин Н.И.**

**Nikolaykin N.I.**

доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры  
МГТУ ГА

**Рыбалкина А.Л.**

**Rybalkina A.L.**

кандидат технических наук, доцент  
доцент кафедры  
МГТУ ГА, г. Москва

## ВНЕШНЯЯ СРЕДА И ОШИБКИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА АВИАПРЕДПРИЯТИЙ

### EXTERNAL ENVIRONMENT AND ERRORS OF AIRLINE ENTERPRISES MAINTENANCE STAFF

**Аннотация.** Представлены результаты анализа воздействия на инженерно-технический персонал гражданской авиации освещенности, шума, температуры окружающей среды, влажности и давления от нормируемых значений. Показано, что при анализе причин ошибок персонала при техническом обслуживании воздушных судов необходимо строже учитывать влияние внешней среды на работоспособность.

**Ключевые слова:** внешняя среда, инженерно-технический персонал, человеческий фактор, ошибки.

**Abstract.** The analysis results of the impact on civil aviation maintenance personnel of illumination, noise, ambient temperature, humidity and pressure from standardized values are presented. It is shown that when analyzing the personnel errors causes during aircraft maintenance, it is necessary to more strictly take into account the influence of the external environment on performance.

**Keywords:** external environment, maintenance personnel, human factor, errors.

Условия проведения работ по техническому обслуживанию (ТО) воздушных судов (ВС) определяются [1] многочисленными факторами окружающей среды, такими как микроклиматические условия, освещённость, шум и т.д. При опросе [2] инженерно-технического персонала (ИТП) о факторах, способствующих появлению повышенного утомления, 77% респондентов отметили влияние внешних условий на утомляемость, а также на увеличение риска ошибочных действий [3].

Анализ особенностей влияния основных факторов внешней среды на ошибочные действия ИТП показал следующее:

1. Недостаток освещенности. При неудовлетворительной освещенности зоны обслуживания, как отмечалось [4] «снижается качество выполненных работ, могут остаться незамеченными трещины, потертости, течи топлива, масел, спецжидкостей и т.п. предвестники неполадок».
2. Шум. Работник в условиях длительного шумового воздействия испытывает раздражительность, головную боль, головокружение,

снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, нарушение сна. Шум мешает речевому обмену. По результатам аудиометрии различная степень снижения слуха зарегистрирована у 86% ИТП.

3. Температура. При повышении температуры окружающей среды выше 25°C начинается физическое утомление, выше 30°C – умственная деятельность ухудшается, замедляется реакция, появляются ошибки. При температуре ниже 16°C ухудшается гибкость рук и пальцев, а при 13°C показатель гибкости рук уменьшается на 50%.

4. Влажность воздуха и давление. В полете ВС влажность воздуха и давление пониженные. При дальних командировках ИТП нужно учитывать воздействие пониженных влажности и давления в салоне ВС.

Следовательно, анализируя причины ошибок при ТО ВС, необходимо учитывать состояние внешней среды на месте работы ИТП.

### **Литература**

1. Николайкин, Н. И. Методология оценки влияния условий труда персонала авиапредприятий на риски в авиатранспортных процессах / Н.И. Николайкин, Ю. Г. Худяков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2013. – № 197. – С. 115-119. – EDN RSMULB.
2. Еникеев, Р. В. Проблема утомляемости инженерно-технического персонала авиакомпаний / Р.В. Еникеев, А. Л. Рыбалкина, А.С. Семенов // Проблемы безопасности полетов. – 2022. – № 11. – С. 30-38. – DOI 10.36535/0235-5000-2022-11-4. – EDN NBKNCS.
3. Николайкин Н.И. Моделирование системы управления рисками при эксплуатации опасных производственных объектов / Н.И. Николайкин, Ю.Г. Худяков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 10. С. 35.
4. Трусова, Е. И. Оценка условий, Неблагоприятных для пилотирования вертолетов / Е.И. Трусова, А.Л. Рыбалкина, Н.И. Николайкин // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2023. – № 1. – С. 42-56. – DOI 10.51955/2312-1327\_2023\_1\_42. – EDN QKYFTT.

**Костюрина А.А.**  
**Kostyurina A.A.**  
студентка  
МГТУ ГА, г. Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СТРЕССА И УТОМЛЯЕМОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА**

### **RESEARCHING THE CAUSES OF MAINTENANCE STAFF STRESS AND FATIGUE**

**Аннотация.** Работа инженерно-технического персонала (ИТП) в авиации очень ответственна из-за высокой цены ошибки при техническом обслуживании воздушных судов. Однако ряд факторов, таких как ночные смены, стресс, плохие погодные условия и спешка, могут повлиять на качество работы и вероятность совершения ошибок, что сказывается на уровне безопасности полётов. В работе представлены результаты анкетирования ИТП различных авиакомпаний и выявлены факторы, являющиеся причинами стресса и повышенной утомляемости ИТП.

**Ключевые слова:** инженерно-технический персонал, стресс, спешка, утомляемость, анкетирование.

**Abstract.** The work of maintenance staff in aviation is highly responsible due to the significant consequences of errors in aircraft maintenance. Several factors, including night shifts, stressful conditions, adverse weather, and haste, can influence the quality of their work and increase the likelihood of mistakes, thereby affecting flight safety levels. In this work, a survey of maintenance staff of various airlines was conducted and factors that were the causes of maintenance staff stress and increased fatigue were identified.

**Keywords:** maintenance staff, stress, haste, fatigue, questionnaire.

Работа инженерно-технического персонала в авиации играет большую роль в поддержании требуемого уровня безопасности полётов. ИТП должен не только обладать техническим образованием, профессионализмом и компетентностью, но и быть внимательным и сконцентрированным, быстро реагировать на меняющиеся условия и вовремя принимать верные решения. Однако реализация этих качеств зависит от ряда факторов, важную роль среди которых играют спешка

и утомляемость [1]. Для выявления причин возникновения стресса и повышенной утомляемости был проведен опрос среди ИТП различных авиакомпаний. Были сделаны следующие выводы:

– у 95% опрошенных возникают на работе стрессовые ситуации, связанные в основном со спешкой, с проблемами в передаче информации, штрафами, разногласиями с политикой руководства и отвлекающими факторами;

– 90% опрошенных отметили наличие спешки в работе, и больше половины из них отметили, что спешка присутствует постоянно или часто. Среди её причин в первую очередь отмечается нехватка персонала, плотный график работ и нерациональное планирование;

– повышенная нагрузка или спешка не зависят от того, ночная это или дневная смена. Наибольшая нагрузка отмечается в конце смены и при пересменке;

– 81% опрошенных отметили, что сильнее устают из-за сокращения времени на выполнение работ, при этом влияние на самочувствие спешки и большой загруженности в ночные смены отмечают 80%, а в дневные смены – 50%;

– 73% отметили, что нет возможности поспать во время ночных смен. У 33% нет возможности отдохнуть во время ночных смен и у 38% – во время дневных. Во время отдыха большинство людей обедают или сидит в телефоне. 43% отмечают, что этого отдыха недостаточно;

– больше половины опрошенных не знают индивидуальных мер по снижению стресса и утомляемости;

– 95% отмечают необходимость выполнять работы дополнительно к основным обязанностям;

– 76% приходится задерживаться на работе после смены. Большинство задерживается на 1-2 часа, но были задержки и до 6 часов.

Таким образом, были выявлены причины стрессовых ситуаций, спешки и повышенной утомляемости ИТП, непосредственно влияющие на качество работы, и повышающие вероятность совершения ошибок при техническом обслуживании воздушных судов.

### **Литература**

1. Еникеев, Р.В. Методика управления утомляемостью инженерно-технического персонала / Р.В. Еникеев, А.Л. Рыбалкина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2020. – Т. 9, № 3(51). – С. 132-137. – DOI 10.46548/21vek-2020-0952-0024. – EDN YUBVIF.

**Киселев М.А.**

**Kiselev M.A.**

доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой  
МГТУ ГА

**Преферансов Д.И.**

**Preferansov D.I.**

аспирант  
МГТУ ГА, г. Москва

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОДХОДОВ К ПОДГОТОВКЕ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА**

## **ANALYSIS OF EXISTING AND PROSPECTIVE APPROACHES TO THE TRAINING OF AVIATION PERSONNEL**

**Аннотация.** Представлен обзор существующих и перспективных подходов к совершенствованию систем подготовки, переподготовки, повышения квалификации и аттестации авиационного персонала. Выделены отличия в нормативной базе и практике подготовки, используемые в РФ и за ее пределами. Рассмотрены технические средства обучения, используемые в настоящее время в процессе подготовки авиационного персонала, а также обучения студентов ВУЗов по направлениям, связанных с эксплуатацией ВС. Выделены возможные направления развития указанных средств обучения.

**Ключевые слова:** подготовка авиационного персонала, технические средства обучения, виртуальная реальность, искусственный интеллект.

**Abstract.** This article provides an overview of existing and prospective approaches to improving the systems for training, retraining, advanced training, and certification of aviation personnel. The differences in regulatory framework and training practices used in Russia and beyond are highlighted. The technical training aids currently employed in the process of training aviation personnel, as well as students at universities studying disciplines related to aircraft operation, are examined. Potential directions for the development of these training aids are identified.

**Keywords:** aviation personnel training, technical training aids, virtual reality, artificial intelligence.

В докладе проанализированы документы, определяющие порядок подготовки авиационного персонала и студентов вузов ГА, обучающихся по специальностям, связанных с эксплуатацией воздушных судов. Показано, что обучение студентов вузов и обучение авиационного персонала в настоящее время проходит по разным требованиям. Требования к студентам вуза – будущих специалистов авиационного персонала – задаются стандартом ФГОС ВО 3++, например, ФГОС по специальности 25.05.05. Подготовка же авиационного персонала проходит в соответствии с требованиями к авиационному персоналу, заданными ФАП 147. Исходя из этого, выпускник вуза не относится сразу после окончания к авиационному персоналу и ему необходимо проходить дополнительное обучение.

Для устранения этого разрыва между подготовкой студентов и подготовкой авиационного персонала, сокращению времени и сроков подготовки, экономии средств, затрачиваемых на дополнительное образование при подготовке авиационного персонала необходимы изменения нормативной базы, а также совершенствование технических средств обучения для того, чтобы при увеличении объёма обучения, провести его при неизменном времени подготовки, уместив его в заданные законодательством рамки.

Проведён анализ существующих ТСО, таких как computer-based training или СВТ, электронного обучения [1], которые используются в подготовке авиационного персонала и студентов вузов по направлениям, связанных с эксплуатацией ВС.

Показано, что перспективы повышения эффективности подготовки могут быть связаны с внедрением новых ТСО [2], основанных на технологиях виртуальной реальности и нейросетей.

### **Литература**

1. Захарова, О.Г. Концепции электронного обучения в сфере подготовки авиационного персонала / О.Г. Захарова // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 199. – С. 95-100. – EDN RTAABH.
2. Акматбекова, А.Ж. Внедрение современных электронных средств в практику обучения физике / А.Ж. Акматбекова // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2017. – № 7(120). – С. 47-51. – EDN ZEGGNF.



**Геворгян В.М.**

**Gevorgian V.M.**

преподаватель-исследователь

пилот ВС, А-319/320/321

младший научный сотрудник

МГТУ ГА

**Шаров В.Д.**

**Sharov V.D.**

доктор технических наук, доцент

профессор кафедры

МГТУ ГА, г. Москва

## **ПОДГОТОВКА ЛЁТНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

### **TRAINING OF FLIGHT PERSONNEL FOR PROMISING AIRCRAFT**

**Аннотация.** Разработка проектов новых воздушных судов (ВС), как дозвуковых, так и сверхзвуковых гражданских самолетов – одна из важных задач авиационной науки и техники. Среди многих вызовов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией перспективных ВС важное место занимает проблема обеспечения безопасности полетов. Для решения данной проблемы необходимо создать современную систему подготовки персонала, которая будет задействована в эксплуатации. Такая система предусматривает внедрение современного компетентностного подхода в программу подготовки пилотов.

**Ключевые слова:** человеческий фактор, безопасность полетов, подготовка летного состава, сверхзвуковой гражданский самолет (СГС), подготовка и оценка на основе компетенций (СВТ/А).

**Abstract.** The development of projects for new aircraft, both subsonic and supersonic civil aircraft, is one of the important tasks of aviation science and technology. Among the many challenges associated with the design, manufacture and operation of promising aircraft, the problem of flight safety occupies an important place. To solve this problem, it is necessary to create a modern personnel training system that will be involved in operation. Such a system provides for the introduction of a modern competence-based approach into the pilot training program.

**Keywords:** human factor, flight safety, flight crew training, the Supersonic Transport (SST), competency-based training and assessment (CBT/A).

На сегодняшний день идет активный переход от традиционной системы подготовки к современной системе подготовки летного состава в авиакомпаниях России [1], и, поэтому необходимо всецело адаптировать подготовку и оценку на основе компетенций (CBT/A) для обучения пилотов. Данный подход поможет обучить «устойчивого» (Resilience) пилота не только для дозвуковых воздушных судов (ВС), но и для сверхзвукового гражданского самолета (СГС). Термин «Resilience» стал широко использоваться для определения и оценки эффективности работы человека при столкновении с неожиданными сбоями в работе. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) определила устойчивость летного экипажа, как «способность члена летного экипажа распознавать, усваивать и адаптироваться к сбоям в работе». Пилоты, обладающие опытом полетов и подготовки, могут выполнять индивидуальные анализы конкретных факторов рисков, связанных с ВС и производством полетов.

CBT/A – это инструмент, который позволяет разрабатывать учебные программы, эффективно учитывающие операционные риски, а не просто удовлетворяющие традиционным требованиям к обучению [2]. Дополнительно для программы подготовки пилотов СГС необходимо пересмотреть данные компетенции и изучить влияние различных факторов, таких как: утомляемость во время сверхзвуковых полетов; быстрые смены часовых поясов; повышение уровня космической и солнечной радиации; передача и использования информационных сообщений о космической погоде; особенности взаимодействия с органами ОВД и т.п.

### **Литература**

1. Геворгян В.М., Королькова М.А., Шурыгин А.В. Внедрение обучения пилотов на основе компетенций (CBT/A) в авиакомпаниях России: опыт и перспективы. / Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции: «Актуальные проблемы защиты и безопасности». – Санкт-Петербург: РАРАН. – 2023. – Том 2. – С. 359-362.
2. Геворгян, В. М. К вопросу о применимости компетентного подхода при подготовке пилотов гражданской авиации / В. М. Геворгян, В. Д. Шаров, Н. И. Николайкин // Гражданская авиация на

современном этапе развития науки, техники и общества : Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 179-180. – EDN XJZCMU.

УДК 629.7.01  
eLIBRARY.RU:47.09.29

**Костенков В.А.**

**Kostenkov V.A.**

кандидат технических наук, доцент  
доцент кафедры  
МГТУ ГА

**Стукалов С.Б.**

**Stukalov S.B.**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры  
МГТУ ГА, г. Москва

**ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**APPLICATION OF NEW MATERIALS FOR RADIOELECTRONIC  
EQUIPMENT AIR TRANSPORT EQUIPMENT**

**Аннотация.** Широкозонные полупроводники обладают рядом специфических свойств, которые позволяют на их основе создавать мощные электронные приборы, в частности, мощные транзисторы и высоковольтные сильноточные диоды. Поэтому исследование широкозонных полупроводников является одним из актуальных направлений в твердотельной электронике.

**Ключевые слова:** радиоэлектронное оборудование, широкозонные полупроводники, воздушный транспорт.

**Abstract.** Wide-band semiconductors have a number of specific properties that make it possible to create powerful electronic devices based on them, in particular, high-power transistors and high-voltage high-current diodes. Therefore, the study of wide-band semiconductors is one of the most relevant areas in solid-state electronics.

**Keywords:** radioelectronic equipment, wide-band semiconductors, air transport.

Для поддержания требуемых показателей безопасности полетов необходимо обеспечивать высокую надежность радиоэлектронного оборудования (РЭО) воздушных судов, аэропортов, воздушных трасс, которая в большой степени определяется используемой элементной базой и радиоматериалов.

### Материал и методика

Улучшение рабочих характеристик при одновременном уменьшении размеров и цены – неперенные требования при создании практически любого полупроводникового прибора радиоэлектронной авионики. Для силовых полупроводниковых устройств эти требования в первую очередь означают обеспечение как можно меньших потерь на переключение и электропроводность диэлектрика, более высокой частоты переключения, стабильности характеристик в широком диапазоне температур, высокой рабочей температуры и как можно более высокого запирающего напряжения.

Целесообразно использовать широкозонные полупроводники с шириной запрещенной зоны  $E_g$  более 2,3-2,4 эВ. В собственном полупроводнике, при отсутствии внешних воздействий, концентрация свободных носителей  $n_i$  определяется двумя основными параметрами – шириной запрещенной зоны  $E_g$  и температурой  $T$ . Концентрация свободных носителей  $n_i$  определяется соотношением (1) [1]:

$$n_0 = p_0 = n_i = \sqrt{N_C N_V} \cdot e^{\frac{E_g}{2kT}} \quad (1)$$

По мере роста температуры  $T$  собственная концентрация  $n_i$  возрастает. Температурная граница возможности использования полупроводника в приборах определяется как температура  $T_{гр}$ , при которой значение собственной концентрации  $n_i$  сравняется со значением концентрации основных носителей, определяемой легирующей концентрацией  $N_D$ . Известно, что  $E_g$  и  $N_{C,V}$  зависят от температуры. Для оценки граничной температуры можно пренебречь этим фактом. Тогда, учитывая, что  $n_0 = N_D$ , после преобразования получим

$$T_{гр} = \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{\ln \left( \frac{\sqrt{N_C N_V}}{N_D} \right)} \quad (2)$$

## Результаты и обсуждение

Выберем для значения легирующей концентрации стандартную величину  $N_D = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Рассчитанные по соотношению (2) значения граничной температуры составляют для нитрида галлия  $1300^\circ\text{C}$ , а для кремния  $270^\circ\text{C}$ . В табл. 1 приведены рассчитанные для различных полупроводников по соотношению (2) значения граничной температуры.

Таблица 1. Характеристики полупроводниковых материалов, рассчитанные по соотношению (2)

Материал, характеристики	Si	GaAs	GaP	SiC(4H)	GaN
$E_g, \text{эВ}$	1,1	1,4	2,8	3,0	3,4
$n_i, \text{см}^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-10}$
$T_{гр}, ^\circ\text{C}$	270	470	620	900	1300

На рис. 1 приведены передаточные характеристики полевого транзистора с затвором в виде барьера Шоттки и эмиттерным гетеропереходом AlGaN – GaN ГПТШ [2] при комнатной температуре  $T=25^\circ\text{C}$  и при температуре  $T=600^\circ\text{C}$ .

Видно, что при экстремальной температуре  $T=600^\circ\text{C}$  вид передаточных вольт-амперных характеристик сохраняется, хотя значение тока стока при фиксированном напряжении на стоке уменьшается в два раза.

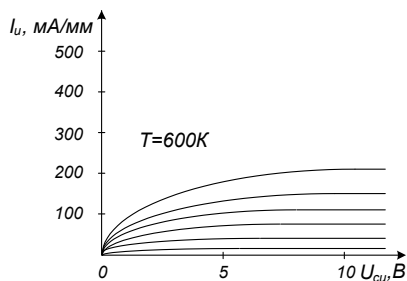
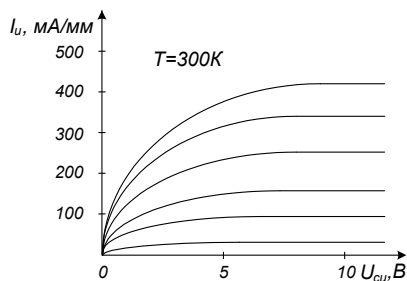


Рис 1. Передаточные характеристики полевого транзистора с затвором в виде барьера Шоттки и эмиттерным гетеропереходом AlGaN – GaN ГПТШ

Применение новых материалов для радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта позволит: увеличить технический ресурс РЭА; повысить надежность, КПД и другие технические характеристики при улучшении массогабаритных показателей приемо-передающей и силовой аппаратуры; повысить радиационную стойкость радиокомпонентов; снизить себестоимость СВЧ аппаратуры на 15-30%.

### **Литература**

1. Силовая полупроводниковая электроника. Электроника, 2014, №4 (00135) – 85 с.
2. Костенков В.А., Глазунова А.А., Чигаров Н.А. Перспективы использования новых материалов для радиоэлектронного оборудования в гражданской авиации и в компьютерных технологиях. Сборник трудов. II Международная научная конференция по междисциплинарным исследованиям. Сборник статей. ООО «Институт цифровой экономики и права». Екатеринбург, 2023 г. С. 216-220.

УДК 681.518.5

eLIBRARY.RU: 81.83.20

**Жемаева Д.А.**

**Zhemaeva D.A.**

студентка

МГТУ ГА, г. Москва

**Кулешов Д.А.**

**Kuleshov D.A.**

студент

МГТУ ГА, г. Москва

Научный руководитель:

**Гевак Н.В.**

**Gevak N.V.**

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры

МГТУ ГА, г. Москва

## ГРАФ-МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБЗОРА ЛЁТНОГО ПОЛЯ «АЛЬКОР»

### GRAPH-MODEL OF THE PULSE AMPLIFIER MODULE OF THE SURFACE MOVEMENT RADAR STATION «ALKOR»

**Аннотация.** В докладе предложена методика построения диагностической граф-модели импульсного усилительного модуля (УМИ 9000-600) радиолокационной станции обзора летного поля (РЛС ОЛП) «Алькор», которая учитывает влияние различных факторов (конструкционных, экономических, эксплуатационных) на качество диагностирования.

**Ключевые слова:** техническая диагностика РЭО, моделирование, граф-модель, радиолокационной станции обзора летного поля, импульсный усилительный модуль.

**Abstract.** The report proposes a methodology of building a diagnostic graph-model of the pulse amplifier module (UMI 9000-600) of the surface movement radar SMR «Alkor», which takes into account the influence of various factors (constructive, economic, operational) on the quality of diagnostics.

**Keywords:** technical diagnostics of air defense equipment, modeling, graph-model, surface movement radar, pulse amplifier module.

Под техническим диагностированием (ТД) систем, функционирующих в пределах заданных режимов, понимают комплекс задач по оценке текущего технического состояния и его прогнозированию. Для решения этих задач строиться диагностическая модель (ДМ) [1].

Во время принятия решения о техническом состоянии радиоэлектронных средств (РЭС) и отнесении его к одному из состояний – работоспособному или неработоспособному – может быть осуществлено путем измерения ДП и соотнесения полученных значений с областью работоспособности.

Решение о работоспособном состоянии сложного РЭС принимается на основе измерения совокупности ДП, причем эта совокупность тем больше, чем сложнее устройство. С увеличением объема ДП становится сложнее проводить работы по ТД РЭС, поэтому важным свойством ДМ является наглядность, поэтому в качестве ДМ выбрана граф-модель [2].

Процедура построения граф-модели базируется на глубоком изучении структуры и функционирования объекта диагностирования (ОД). В зависимости от глубины диагностирования и степени конкретизации, масштаб модели будет изменяться [1].

Рассматривается задача построения ДМ на основе графов для радиолокационной станции обзора летного поля «Алькор». Так как построение ДМ всей системы является объемным проектом, то в данной работе апробирована методика расчета граф-модели для более простого структурного элемента [3].

В качестве ОД выбран импульсный усилительный модуль (УМИ 9000-600) выступающий в роли передатчика РЛС ОЛП «Алькор». На основе построенного ранее алфавита отказов выбрано множество параметров, обеспечивающих выполнение тех или иных функций, и установлены причинно-следственные связи, исходя из которых сформированы вершины и ребра граф-модели. По построенной граф-модели проанализирован процесс функционирования ОД при наличии неисправностей и был проведен расчет весов вершин и дуг [4].

### **Литература**

1. Диагностирование на граф-моделях: На примерах авиационной и автомобильной техники/Я.Я. Осис, Я.А. Гельфандбейн, З.П. Маркович, Н.В. Новожилова. – М.: Транспорт, 1991. – 244 с.
2. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.: ил. – ISBN 5-256-00012-8.
3. Радиолокационная станция обзора летного поля РЛС ОЛП «Алькор». Руководство по эксплуатации. Часть 1 Общие сведения. ЦИВР.462414.012 РЭ.
4. Радиолокационная станция обзора летного поля РЛС ОЛП «Алькор». Часть 2 Описание и работа составных частей. Система первичной и вторичной обработки информации. ЦИВР.462414.012 РЭ1.

УДК 621.396

eLIBRARY.RU: 47.49.31

**Васильченко А.А.**

**Vasilchenko A.A.**

кандидат технических наук  
ФВА РВСН им. Петра Великого  
г. Серпухов



## ОЦЕНКА РЕАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ТРАЕКТОРНОГО КОНТРОЛЯ

### ASSESSMENT OF THE ACTUAL VISIBILITY RANGE OF TRAJECTORY CONTROL

**Аннотация.** В статье представлен подход к определению реальной дальности видимости до воздушного объекта наблюдения с учетом параметров атмосферы и параметров оптического канала средства траекторного контроля.

**Ключевые слова:** измерительная система, наблюдение за объектами, траекторные измерения, реальная дальность видимости, яркостный контраст.

**Abstract.** The article presents an approach to determining the actual range of visibility to an aerial object of observation, taking into account the parameters of the atmosphere and the parameters of the optical channel of the trajectory control device.

**Keywords:** measuring system, object observation, trajectory measurements, real range of visibility, brightness contrast.

В ходе организации траекторного контроля воздушных объектов наблюдения (ОН) высокоточными оптическими (квантово-оптическими) измерительными системами разрабатываются программы на сеансы измерений, учитывающие прогнозируемые модели движения ОН, априорные сведения о погрешностях измерений, параметры измерительных систем (средств) и параметры атмосферы. Для обеспечения наибольшей непрерывности сеансов измерений оптическими средствами траекторного контроля необходим расчет реальной дальности видимости до ОН, на которой он может быть обнаружен.

Учитывая, что на момент времени наблюдения  $t_i$  по оптическому измерительному каналу средства траекторного контроля ОН параметры вектора измерений определяются по выражениям:

$$\alpha_k(t_i) = \tan^{-1} \left( \frac{x_{u_k}(t_i) - x_{он}(t_i)}{y_{u_k}(t_i) - y_{он}(t_i)} \right) - \text{азимут визирной оси}$$

оптического прибора;

$\beta_k(t_i) = \tan^{-1} \left( \frac{z_{u_k}(t_i) - z_{on}(t_i)}{R_k(t_i)} \right)$  – угол места визирной оси

оптического прибора;

$R_k$  – наклонная дальность между ОН и средством тракторного контроля, вычисляемая по выражению:

$$R_k = \sqrt{(x_{u_k}(t_i) - x_{on}(t_i))^2 + (y_{u_k}(t_i) - y_{on}(t_i))^2 + (z_{u_k}(t_i) - z_{on}(t_i))^2} \quad (1)$$

С учетом характеристик оптического канала наблюдения углы обзора по азимутальной и угломестной оси определяются выражениями:

$$\gamma_\alpha = 2 \arctg(d_{M_x} / (2f)) \quad (2)$$

$$\gamma_\beta = 2 \arctg(d_{M_y} / (2f)) \quad (3)$$

где

$f$  – фокусное расстояние оптического прибора;

$d_{M_x}, d_{M_y}$  – размеры ПЗС-матрицы оптического прибора в мм.

Размеры проецируемой на ПЗС-матрицу области пространства тракторного контроля могут быть определены по выражениям:

$$L_x = 2R_k \cdot \tg(\gamma_\alpha / 2) \quad (4)$$

$$L_y = 2R_k \cdot \tg(\gamma_\beta / 2) \quad (5)$$

Оценка размера (в пикселях) ОН в зависимости от его линейных размеров и определение предельной дальности обнаружения может быть выполнена по следующим формулам:

$$m_{l_x} = \frac{M_x l_x}{L_x}; m_{l_y} = \frac{M_y l_y}{L_y}; \quad (6)$$

$$R_{k-m} = \frac{M_x l_x}{m_{l_x} d_{M_x}}; R_{k-m} = \frac{M_y l_y}{m_{l_y} d_{M_y}}; \quad (7)$$

где

$M_x, M_y$  – размеры ПЗС-матрицы оптического прибора в пикселях.

Однако, учитывая прозрачность атмосферы, реальная дальность видимости до ОН будет существенно отличаться от наклонной дальности. При этом, следует учитывать яркостный контраст как отношение абсолютной величины разности яркостей фона и объекта к большей из них:

$$K_0 = |\Delta B| / B \quad (8)$$

Тогда видимая яркость ОН и видимая яркость фона с учетом наклонной дальности описывается следующими выражениями [1]:

$$\begin{aligned} B_0^* &= B_0 e^{-kR_k} + B_{\text{дон}} \\ B_{\phi}^* &= B_{\phi} e^{-kR_k} + B_{\text{дон}} \\ B_{\text{дон}} &= B_M \left[ 1 - e^{-kR_k} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

где

$k$  – объемный показатель ослабления света;

$B_M$  – насыщающая яркость, которую создает воздушная дымка в достаточно большом по горизонтальной протяженности слое воздуха.

Преобразовав выражение (8) с учетом выражения (9), получим следующее выражение [2-3]:

$$K = \frac{B_{\phi}^* - B_0^*}{B_{\phi}^*} = \frac{K_0}{1 + (B_M / B_{\phi}) \left[ e^{-kR_k} - 1 \right]} \quad (10)$$

Согласно формуле (10) видимый контраст всегда меньше истинного контраста. Уменьшение  $K$  тем сильнее, чем больше наклонная дальность  $R_k$ .

Тогда реальная дальность видимости ОН определяется выражением:

$$S_p = \frac{1}{k} \ln \frac{K_0 / \varepsilon + B_M / B_{\phi} - 1}{B_M / B_{\phi}} \quad (11)$$

где

$\varepsilon$  – порог обнаружения ОН.

Таким образом, учитывая значение реальной наклонной дальности и видимого контраста можно определить реальную дальность видимости до ОН с учетом параметров атмосферы и параметров оптического канала средства траекторного контроля.

### Литература

1. Матвеев Л.М. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.
2. Э. Мак-Картни. Оптика атмосферы. Рассеяние света молекулами и частицами. – Москва: Мир, 1979. – 365 с.
3. Филиппов В.Л. Атмосфера и моделирование оптико-электронных систем в динамике внешних условий / В.Л. Филиппов, В.П. Иванов, В.С. Яцык. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. – 632 с.

**Васильченко А.А.**  
**Vasilchenko A.A.**  
кандидат технических наук  
ФВА РВСН им. Петра Великого  
г. Серпухов

## **ТОЧНОСТНОЙ КРИТЕРИЙ КАК ОСНОВА РОЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ В ХОДЕ ТРАЕКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ БПЛА**

### **ACCURACY CRITERION AS THE BASIS OF STEERING DURING TRAJECTORY CONTROL BY MEASURING UAV**

**Аннотация.** Представлен инструментарий и критерии формирования сценария роевого управления измерительными БПЛА в ходе наблюдения за объектами. Приведены результаты имитационного моделирования в виде зависимостей суммарной точности оценки местоположения объектов от времени наблюдения для четырех сценариев роевого управления.

**Ключевые слова:** рой БПЛА, измерительная система, наблюдение за объектами, нижняя граница Крамера-Рао, траекторные измерения, методы роевого управления.

**Abstract.** The article presents the tools and criteria for the formation of a swarm control scenario for measuring UAVs during object observation. The results of simulation modeling are presented in the form of dependencies of the total accuracy of estimating the location of objects on the observation time for four swarm control scenar

**Keywords:** swarm of UAVs, measuring system, object observation, lower boundary of Cramer-Rao, trajectory measurements, swarm control methods.

Перспективным направлением создания нового облика траекторных измерительных систем (систем наблюдения за объектами) должно стать применение в структуре измерительного комплекса мобильных платформ. Мобильные платформы предназначены для компактного размещения средств измерений и средств обработки результатов наблюдений, и допускающих их

перемещение на и над земной поверхностью в горизонтальной и/или вертикальной плоскостях.

В качестве мобильных платформ могут быть использованы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1,2]:

- одиночные или группа (рой) с единой задачей выполнения конкретных задач контроля объекта испытаний;
- управляемые или автономные;
- управляемые с централизованным или индивидуальным управлением;
- с универсальным или специализированным оборудованием для траекторных измерений объектов испытания.

Позиционирование БПЛА-измерителей в пространстве может осуществляться как по сигналам космических навигационных систем, так и сигналам от реперных источников радиоизлучений и автономной навигации.

Роевые системы состоят из БПЛА-агентов, локально взаимодействующих между собой и с окружающей средой.

Каждый агент следует простым правилам, направленным на решение единой для всех элементов генеральной целевой функции. Простота этих правил заключается в отсутствии подробного представления каждому из них порядка действий.

Алгоритм функционирования роя как единой системы формируется практически в реальном масштабе времени. Каждый агент системы подчинен решению двуединой задачи+ - решение целевой функции с наложением определенных ограничений на свободу действий при случайных воздействиях на него.

Роевой интеллект, применяемый для управления группировкой БПЛА-измерителей, описывает коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы взаимодействующих друг с другом БПЛА-измерителей (ИБПЛА).

Реализация этого общего алгоритма управления роем ИБПЛА может быть конкретизируема известными методами роевого управления:

- а) имитации физического взаимодействия частиц в узлах кристаллической решетки [1];
- б) оптимизации на основе роя частиц (алгоритм PSOP) и блокирования по Рейнольдсу [2];
- в) построенные на основе функционирования децентрализованной самоорганизации мультиагентных систем [2, 3];
- г) отбора искусственной иммунной системы [2, 3];
- д) бактериального поиска;

- е) «капель воды» – метод выбора альтернативных «путей для воды»: либо наиболее близкие, либо оптимальные;
- ж) гравитационного поиска наиболее качественных, «тяжелых», агентов;
- з) имитации поведения социальных насекомых;
- и) полета плотной стаи птиц.

Учитывая необходимость обеспечения непрерывности и высокой точности траекторных измерений, целесообразно в рое ИБПЛА выделить:

- а) «ведущих» БПЛА-измерителей;
- б) сопровождающих целевых групп БПЛА, обеспечивающих:
  - эффективный поиск объекта наблюдения (ОН);
  - решение задач распознавания, захвата и наблюдения ОН;
  - последующую эстафетную передачу управления БПЛА – измерителям.

Реализация непрерывности и точности траекторных измерений требует для управления БПЛА-измерителей применения роевых алгоритмов, отличающиеся некоторым способом от классических звериных алгоритмов, децентрализованной самоорганизации мультиагентных систем и алгоритма роя частиц, что в свою очередь приводит формированию новых алгоритмов (методов) роевого управления.

### **Выбор критерия управления**

В качестве зависимости точности измерений местоположения ОН от погрешностей первичных измерений с заданной доверительной вероятностью выступает общепринятая метрика – нижняя граница Крамера-Рао (CRLB), вычисляемая как след (сумма элементов главной диагонали) ковариационной матрицы, обратной к информационной матрице Фишера, учитывающей:

- матрицы частных производных координат от параметров первичных измерений, вычисляемые при начальной оценке;
- общую ковариационную матрицу первичных измерений для  $K$  ИБПЛА;
- вектор погрешностей оценок местоположения  $k$ -го ИБПЛА, распределенных по нормальному закону распределения.

Учитывая погрешности измерений местоположения  $K$  ИБПЛА роевой формации, суммарная точность оценки местоположения ОН будет определяться выражениями [4, 5]:

$$CRLB(g_{on}, K) = (J_K^T N^{-1} J_K^T)^{-1} = tr(FIM^{-1}(g_{no}, K)) = tr(\Sigma) \quad (1)$$

$$\sigma_{u_k}^2 = CRLB(g_{no}, K) + \sum_{k=1}^K \sigma_{n_{uk}}^2 \quad (2)$$

### Оценивание точности измерений

Для исследования роевого управления в формациях ИБПЛА по указанному точностному показателю (критерию) были рассмотрены следующие сценарии:

- 1) неподвижное зависание всех элементов роя на все время наблюдения;
- 2) движение всех элементов роя в одинаковом направлении (по курсовому углу);
- 3) движение двух ИБПЛА роя в одинаковом направлении с ОН (по курсовому углу) и неподвижное зависание третьего;
- 4) движение двух ИБПЛА роя в одинаковом направлении с ОН (по курсовому углу) и движение третьего ИБПЛА навстречу.

Исходные данные для имитационного моделирования представлены в таблице 1. В строках 5, 7, 9 представлены значения проекций скоростей движения ИБПЛА для четырех исследуемых сценариев. Результаты имитационного моделирования представлены на рисунке 1 в виде графиков зависимости суммарной точности оценки местоположения ОН от времени наблюдения для четырех сценариев роевого управления.

Таблица 1. Исходные данные для имитационного моделирования

№	Наименование параметра	Координаты		
		x	y	z
1	Начальная точка маневра, м	0	0	0
2	Скорость движения объекта наблюдения, м/с	98	98	98
3	Ускорение объекта наблюдения, м/с <sup>2</sup>	0	-1	0
4	Положение первого ИБПЛА м	2353	155	1272

5	Скорость движения первого ИБПЛА м/с	0	10	10	10	0	0	0	0	0	10	10	10
6	Положение второго ИБПЛА м	1800			500			5000					
7	Скорость движения второго ИБПЛА м/с	0	10	10	10	0	0	0	0	0	10	10	10
8	Положение третьего ИБПЛА, м	6234	10000			489	846		1256		10000		
9	Скорость движения третьего ИБПЛА, м/с	0	10	0	-10	0	0	0	0	0	10	0	-10
10	Количество ИБПЛА	3											
11	Время наблюдения, с	100											
12	Частота поступления измерительной информации, Гц	30											

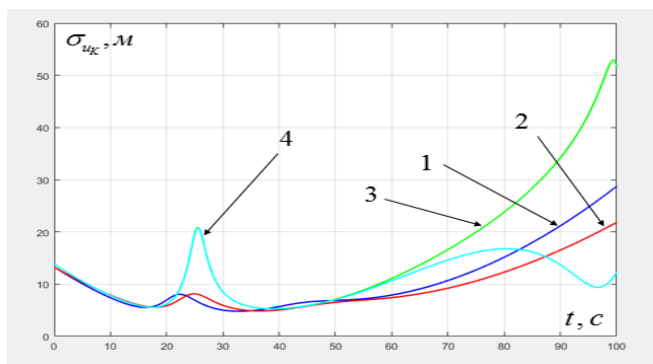




Рис. 1. Графики зависимости суммарной точности оценки местоположения ОН от времени наблюдения для четырех сценариев роевого управления

Результаты имитационного моделирования показывают следующее:

– значения суммарной точности оценки местоположения ОН для первого и второго сценариев практически совпадают до 60 с наблюдения, далее при сопровождении ОН по одинаковому курсовому

углу движения обеспечивается уменьшение значения  $\sigma_{ик}$  на 8 м по сравнению с первым сценарием управления;

– значения суммарной точности оценки местоположения ОН для первого, второго и третьего сценариев совпадают до 50 с, далее при сопровождении ОН по одинаковому курсовому углу движения двух

ИБПЛА и зависании третьего значение  $\sigma_{ик}$  возрастает наиболее сильно, чем при применении второго сценария управления;

– четвертый сценарий управления является наиболее эффективным,

обеспечивающим наименьшее значение  $\sigma_{ик}$  по всему времени наблюдения.

В ходе имитационного моделирования рассмотрены простейшие сценарии управления роем ИБПЛА, но разработанный инструментарий анализа позволяет подобным образом рассмотреть методы роевого управления, указанные в п.1.

### **Заключение**

Разработанный инструментарий позволяет сформировать наиболее эффективный сценарий роевого управления формацией ИБПЛА с адаптацией под траекторию движения ОН путем анализа значений

$\sigma_{ик}$  и выбором параметров движения (формированием полетного задания) каждому элементу роя.

### **Литература**

1. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). – 768 с.
2. Цветков В.Я. Комплементарные системы: учебник / В.Я. Цветков, И.И. Лонский, С.В. Булгаков; Московский государственный

университет геодезии и картографии. – Москва: МАКС Пресс, 2022. – 159 с.

3. Скобцов Ю.А. Эволюционные методы в программной инженерии: учебное пособие / Ю.А. Скобцов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2020. – 128 с.

4. Булычев Ю.Г., Васильев В.В. Информационно-измерительное обеспечение натуральных испытаний сложных технических комплексов. – М.: Машиностроение – Полет, 2016. – 440 с.

Булычев Ю.Г., Манин А.П. Математические аспекты определения движения летательных аппаратов. М.: Машиностроение

УДК 621.396.49  
eLIBRARY.RU: 47.49.31

**Орехов С.Е.**  
**Orekhov S.E.**

кандидат технических наук, доцент

**Ардыханов Б.И.**  
**Ardykhonov B.I.**

ФВА РВСН им. Петра Великого  
г. Серпухов

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ LORA И LORAWAN В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF LORA AND LORAWAN TECHNOLOGY IN PROMISING SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS**

**Аннотация.** В статье рассматривается анализ применимости технологии LoRa, LoRAWAN в сетях связи специального назначения. Представлены варианты применения LoRaWAN для построения радиосетей специального назначения.

**Ключевые слова:** LoRa, LoRaWAN, сеть связи специального назначения, низкое энергопотребление, передача данных, пропускная способность.

**Abstract.** The article considers the analysis of the applicability of LoRa, LoRaWAN technology in special purpose communication networks. The options for using LoRaWAN for building special-purpose radio networks are presented.

**Keywords:** LoRa, LoRaWAN, special purpose communication network, low power consumption, data transmission, bandwidth.

Технологии беспроводного доступа представляют собой бурно развивающуюся отрасль.

В настоящее время наиболее предпочтительной, с точки зрения низкой энергетики и широкой функциональности по обеспечению гетерогенных сервисов связи, в качестве прототипа может рассматриваться технология LoRa, разработанная для обеспечения низкого энергопотребления и большой дальности передачи данных [1].

Данная технология обладает следующими преимуществами:

- увеличенная дальность связи;
- низкое энергопотребление;
- улучшенная пропускная способность;
- улучшенная производительность в условиях помех;
- оптимизация использования спектра.

LoRaWAN – это спецификация протокола передачи данных уровня доступа к среде (MAC, Media Access Layer) [2], определенная и поддерживаемая поверх физического уровня LoRa (рис. 1). Протокол LoRaWAN характеризует параметры физического уровня между устройствами и инфраструктурой сети LoRa. Таким образом, обеспечивается совместимость между разными производителями оборудования. Протокол LoRaWAN предназначен для масштабирования от инфраструктуры единого шлюза до глобальных сетей со многими устройствами.

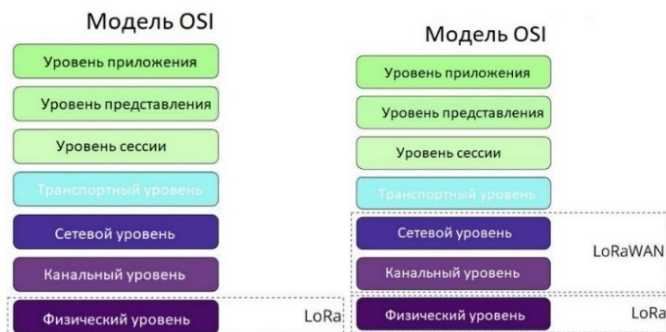


Рис. 1. Соответствие LoRa и LoRaWAN иерархии модели OSI

Комбинация LoRa + LoRaWAN превращает всю коммуникационную сеть LoRa в глобальную сеть с низким энергопотреблением. (LPWAN) [3].

Типичная сеть LoRaWAN состоит из конечных устройств, называемых узлами, шлюзами и сервером. Узлы подключаются к шлюзам через беспроводные каналы LoRa. Шлюзы собирают информацию с узлов, отправляют ее на сервер по IP-сети и пересылают пакеты с сервера на узлы.

Рассмотрим два варианта построения сети связи специального назначения (рис. 2).

Сеть с базовой станцией («звезда»): в такой сети один или несколько узлов играют роль базовой станции, которая обеспечивает связь между остальными узлами. Это позволяет увеличить дальность связи и снизить энергопотребление на передачу данных.

Mesh-сеть («ячеистая сеть»): в mesh-сети каждый узел может выступать в роли ретранслятора, что позволяет обеспечить связь между узлами, находящимися на большом расстоянии друг от друга. Это делает такую сеть идеальной для работы в условиях сложной местности или при потере связи с базовой станцией.



«Ячеистая сеть»



«Сеть звезда»

Рис. 2. Варианты построения сети связи на основе технологии LoRa

Выбор оптимального варианта построения сети зависит от конкретных задач и условий работы спецподразделения. Например, для работы в городских условиях лучше использовать сеть с базовой станцией, а для работы на открытой местности – ячеистую сеть.

Выбор такой конфигурации сети позволяет выполнить одно из требований к сетям радиосвязи нового поколения, а именно реализация децентрализованного управления сетью связи.

Учитывая все вышеперечисленное можно сделать вывод, что данная технология по сравнению с существующими на рынке является дешевой, легко интегрируется уже в существующие сети связи. Гибкая конфигурация позволяет использовать LoRa сети на базе различных устройств, что позволяет реализовать разные перечни режимов обмена информацией.

Внедрение новых систем связи на основе LoRa технологий может значительно улучшить качество связи и оптимизировать использование спектра. Благодаря своим преимуществам, таким как увеличенная дальность и пропускная способность, низкое энергопотребление и улучшенная производительность, LoRa является перспективной технологией для использования перспективных сетях связи специального назначения.

### **Литература**

1. Карташов, С.В., Гуржий, А.С., & Смирнов, М.В. Исследование технологий беспроводной связи в системах Интернета вещей. - Сборник трудов Международной конференции «Управление развитием сложных систем», 2017. с.168-173.
2. Zorbas D., Fafoutis X. Time-Slotted LoRa Networks: Design Considerations, Implementations, and Perspectives. IEEE Internet of Things Magazine 4 2021: 84–89.
3. F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset, B. Martinez, J. MELIA-SEGUI, and T. Watteyne, «Understanding the Limits of LoRaWAN», IEEE Communications Magazine, June 2017.

**Секция 10 (дополнение)**  
**«К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ И ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ»**

УДК: 001.895  
eLIBRARY.RU: 24.00.03

**Савватеева М.И.**  
**Savvateeva M.I.**  
заведующий отделом развития  
**Малиновская Е.О.**  
**Malinovskaya E.O.**  
ведущий специалист по развитию  
и проектам отдела развития  
**Федорова В.М.**  
**Fedorova V.M.**  
менеджер по специальным проектам  
отдела развития  
ГМИК им. К.Э. Циолковского, г. Калуга

**НОВЫЕ ФОРМЫ КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГМИК ИМ. К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО.  
АУДИОСПЕКТАКЛЬ-ПРОМЕНАД  
«РАКЕТЫ. КОРАБЛИ. ЛЮДИ»**

**NEW FORMS OF CULTURAL AND EDUCATIONAL ACTIVITIES  
IN THE THE TSIOLKOVSKY STATE MUSEUM OF THE  
HISTORY OF COSMONAUTICS. THE AUDIO STREET  
PERFORMANCE «ROCKETS. SHIPS. PEOPLE»**

**Аннотация.** В статье рассматривается новая, современная форма работы с музейным посетителем - иммерсивный спектакль-променад. Посредством использования приемов аудиодополненной реальности и художественной интерпретации достоверных научных фактов он вовлекает посетителя в изучение истории освоения космоса и делает сложные темы более интересными и доступными для понимания.

**Ключевые слова:** история космонавтики, культурно-просветительская работа, инновационные подходы, иммерсивность, аудиоспектакль-променад, дополненная реальность.

**Abstract.** In this article a new contemporary form of working with museum visitors is revealed. It is an immersive street performance, which uses audio augmented reality and artistic interpretation of accurate scientific

data in order to involve people in learning history of cosmonautics and to make difficult topics more interesting and easier for understanding.

**Keywords:** history of cosmonautics, cultural and educational work, innovative methods, immersion, audio street performance, augmented reality.

В современном мире быстро развивающихся технологий тема создания и использования в музеях инновационных методов транслирования знаний об истории становится особенно актуальной. Удерживать внимание посетителей без использования дополнительных интерактивных подходов и инструментов становится всё труднее, поэтому одним из наиболее эффективных способов привлечения аудитории являются иммерсивные проекты.

Термин «иммерсивность» означает такой способ восприятия информации, при котором создаётся эффект погружения в искусственно созданную среду. Данный подход стал основой для аудиоспектакля-променада «Ракеты. Корабли. Люди», который проходит в Государственном музее истории космонавтики им. К.Э. Циолковского с весны 2024 года.

Целями проекта были выход за пределы музейного пространства, обеспечение посетителей новым форматом культурного досуга и популяризация истории воздухоплавания через интерактивный формат.

Идея проекта заключалась в том, чтобы с помощью элементов одновременно театрализованного представления, экскурсии, игры и звуковой дополненной реальности раскрыть сложные темы космоса понятно и доступно для самых разных категорий посетителей, особенно для молодого поколения.

Спектакль проходит в историческом и новом зданиях музейного комплекса, а также по уличной экспозиции музея. Следуя за голосом в наушниках, участники променада-спектакля постоянно находятся в действии и движении, узнавая историю освоения космоса самостоятельно без помощи экскурсовода.

Происходящее в искусственно смоделированном мире относится к 2217 году, участники действия на время становятся людьми другого столетия с иным восприятием окружающего. Им предлагается прослушать курс, внутри которого нужно сделать ряд важных эмоциональных выборов, опираясь на собственную волю и разум, а также погрузиться в историю покорения космоса, попутно проводя параллели с собственной жизнью и жизнью космонавтов, принимая решения от простого к сложному.

Темами, которые затрагиваются в тексте сценария спектакля, являются и пилотируемая космонавтика, и беспилотные автоматические аппараты, исследующие Луну и планеты Солнечной системы, а также истории о жизни и работе великих деятелей теоретической и практической космонавтики: К.Э. Циолковского, С.П. Королева и многих советских и российских космонавтов. Вся информация идёт в едином информационном потоке, удивляя, завораживая и вызывая гордость за отечественную науку. А гармоничное сочетание различных видов деятельности и включение участников в спектакль позволяют максимально удерживать их внимание и подключать к процессу изучения истории космонавтики эмоции, что также способствует более эффективному запоминанию полученной информации.

В заключение стоит отметить, что проект уже достиг поставленных целей и успел вызвать большой интерес аудитории. После каждого проведенного спектакля музей получает много положительных отзывов как лично от участников, так и в пространстве Интернет, что говорит о перспективности внедрения спектакля в работу музея на регулярной основе и необходимости создания большего количества подобных проектов в будущем.

*Проект Государственного музея истории космонавтики им. К.Э. Циолковского «Ракеты. Корабли. Люди» стал победителем конкурса «Музей 4.0» благотворительной программы «Музей без границ» Фонда Потанина в 2022 году.*

### **Литература**

1. Материалы веб-сайта проекта «Ракеты. Корабли. Люди». Электронный ресурс <https://performance.gmik.ru/>



## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Abdullin M.R.	178, 186
Adamov D.S.	372
Afonin B.V.	270
Agaptseva T.N.	308
Aleksenko I.V.	178, 187
Aleskerov A.M.	288
Alexandrov S.V.	102
Altunin K.V.	186
Altunin V.A.	178, 182, 186
Andreev D.E.	39
Antonyuk G.I.	36
Ardykhanov B.I.	410
Asoskova Yu.V.	230
Badanov N.S.	186
Belakovskiy M.S.	279, 308
Belkin A.A.	175
Belokonov I.V.	25
Bengin V.V.	36
Betanov V.V.	258
Bogachev S.A.	42
Bogdanov A.N.	349
Bogomolov A.V.	32, 36
Bogomolov V.V.	32, 35
Bokov S.R.	367
Borovin G.K.	245
Borzykh S.V.	154, 159
Bronnikov S.V.	142, 145
Bychkov R.S.	154, 159
Churilo I.V.	151
Churkin A.A.	58
Danilichev S.N.	293
Danov E.A.	61
Danshin A.S.	199
Darmograev M.S.	374
Degtyarev A.O.	11

Demenko O.G. ....	204
Dris I.I. ....	379
Druzhinin Yu.O. ....	134
Dubinin V.I. ....	21
Dvornikov M.V. ....	282, 295
Dyachkov L.G. ....	150
Efimov V.V. ....	367
Efremova O.I. ....	275
Egorochkin K.A. ....	28
Emelyanov S.G. ....	48
Erhova N.F. ....	42
Finogenov S.L. ....	196
Friedland A.A. ....	369
Frolov S.N. ....	48
Galaeva K.I. ....	379
Garipov G.K. ....	32, 39
Gerasyutin S.A. ....	91
Gevak N.V. ....	398
Gevorgian V.M. ....	393
Gimadiev R.R. ....	311
Glazunova I.A. ....	54
Golovin A.A. ....	28
Gordienko E.S. ....	237
Gordienko K.V. ....	311, 327, 339
Gorskova T.A. ....	28
Gostev A.Y. ....	210
Gracheva M.A. ....	288
Grushevitskaya T.G. ....	79
Gukov A.V. ....	49
Gurtov A.S. ....	61
Gusev A.V. ....	164
Guskov S.G. ....	282
Gvozdikova K.V. ....	282
Ivanov K.P. ....	302
Ivanyukhin A.V. ....	213, 222
Ivashkin V.V. ....	213, 222, 245

Kalegaev V.V. ....	33
Kalnitskii I.E. ....	171
Kalyuzhny Y.S. ....	356
Kantserov A.I. ....	168
Kanushkin S.V. ....	199
Karchaev Kh.Zh. ....	4
Kavanosyan S.S. ....	32
Kazakova A.A. ....	288
Kazmerchuk P.V. ....	201
Khomenko M.N. ....	296
Khorunzhiy A.V. ....	68
Kirichenko A.S. ....	42
Kiriliuk E.V. ....	241
Kiselev M.A. ....	356, 391
Kiseleva E.K. ....	154
Kislitsky M.I. ....	168
Klimov P.A. ....	33
Klyushnikov V.Yu. ....	51
Kolinova S.A. ....	96
Kondratiev I.M. ....	349
Konyukhov I.V. ....	39
Koreev E.P. ....	182
Koroleva A.V. ....	242
Koryanov V.V. ....	232
Kostenkov V.A. ....	358, 395
Kostyurina A.A. ....	389
Kotov O.V. ....	272
Kucherenko I.A. ....	36
Kudenko D.A. ....	175
Kukhareno A.S. ....	232
Kuleshov D.A. ....	398
Kussmaul A.R. ....	308
Kutuzova L.A. ....	127
Kuzichkin D.S. ....	324, 330
Kuzin S.V. ....	42
Kuzmin E.K. ....	255
Labetskaya O.I. ....	330
Lazarev N.D. ....	28
Lazin I.U. ....	367

Lazurevskaya Yu.A. ....	351
Lisin E.A. ....	151
Lizunov A.A. ....	58
Lizunov S.A. ....	58
Lizunova A.S. ....	58
Lobanov I.E. ....	207
Loboda I.P. ....	42
Loginov V.I. ....	324
Logovatovskaya E.S. ....	94
Lukicheva N.A. ....	327
Lvov M.V. ....	182
Lyovochkin P.S. ....	96
Makarchev A.I. ....	311
Maksimova I.D. ....	282, 296
Maltsev D.S. ....	362
Malyshev A.D. ....	282, 296
Manko O.M. ....	289, 293, 321
Markin A.A. ....	324, 330, 336
Markina E.A. ....	330
Maslov A.I. ....	58
Matsnev E.I. ....	302
Matyushev T.V. ....	282, 295
Maximovskaya N.A. ....	86
Mayorova V.I. ....	28
Medenkov A.A. ....	282, 296
Medvedeva A.S. ....	379
Melikova M.B. ....	365
Melnikova V.G. ....	28
Meng Zh. ....	164
Mikhailov A.E. ....	237
Moshnin A.A. ....	265
Musatova T.P. ....	137
Myasnikov V.I. ....	226
Nebarakov A.D. ....	372
Nechaev O.Y. ....	36
Nemtseva A.S. ....	282
Nesterov E.A. ....	19
Nichiporuk I.A. ....	324, 333
Nikiforov V.E. ....	65

Nikitina O.A. ....	347
Nikolaykin N.I. ....	386
Novikov V.E. ....	339
Ogarkov V.V. ....	68, 130
Orekhov S.E. ....	410
Orlov O.I. ....	321
Osedlo V.I. ....	32, 36, 39
Ovcharova A.S. ....	237
Ovchinnikov M.Yu. ....	54
Pasekova O.B. ....	302
Pecheykina M.A. ....	376
Perepukhov D.G. ....	54
Petrov O.F. ....	151
Petukhov V.G. ....	210
Pichugin S.B. ....	171
Ping Z. ....	164
Platonov E.N. ....	178
Pogosyan S.I. ....	39
Polyakov A.V. ....	330
Polyakov M.V. ....	272
Polyanichenko A.A. ....	318
Preferansov D.I. ....	391
Pronin K.A. ....	178, 186
Pushkin D.S. ....	354
Pyatykh N.S. ....	228
Rachkin D.A. ....	28
Rakov D.L. ....	376
Reva A.A. ....	42
Rodich A.V. ....	362
Rogach N.V. ....	342
Rubin A.B. ....	39
Rumiantsev A.A. ....	168
Rumin O.O. ....	318
Rybalkina A.L. ....	386
Rybina A.S. ....	282, 296
Samburov S.N. ....	48
Santalova Y.A. ....	216

Sari Asude.....	384
Sattarov A.G. ....	191
Savchenko A.V. ....	226
Savenko O.A. ....	318
Savin S.F. ....	151
Sazonov S.Yu. ....	49
Sazonov V.V. ....	33
Schigolev A.A. ....	182
Schneidmiller V.R. ....	61
Sedov E.A. ....	342
Senchilov M.O. ....	321
Sereda V.N. ....	362
Sergeev A.D. ....	372
Serova A.V. ....	324, 330, 336
Servuli E.A. ....	339
Sharov V.D. ....	393
Shcheglov G.A. ....	45
Sheina M.A. ....	282
Shilenkov E.A. ....	48
Shirobokov M.G. ....	54
Shishurin A.V. ....	58
Shitov A.N. ....	49
Shuvalov V.A. ....	32
Shved D.M. ....	314
Sidorenko D.P. ....	342
Sidorenko V.V. ....	245
Sigaleva E.E. ....	302
Sigaleva T.V. ....	302
Solomadin Y.S. ....	270
Stolyarov N.S. ....	369
Stukalov S.B. ....	358, 395
Sudakov V.S. ....	96
Sukhoi Yu.G. ....	265
Supolkina N.S. ....	314, 318
Svertilov S.I. ....	32, 36, 40
Tenenbaum S.M. ....	28
Teterin D.P. ....	48
Tikhonova G.A. ....	331
Titenko E.A. ....	48
Tomilovskaya E.S. ....	275

Trofimov S.P. ....	54
Tsarev S.S. ....	77
Tselousova A.A. ....	54
Turkenich R.P. ....	19
Turkovsky A.M. ....	168
Tverdokhlebova E.I. ....	32
Uspensky A.V. ....	199
Vasilchenko A.A. ....	400, 404
Vasilev I.M. ....	275
Vasiliev M.M. ....	150
Vassilieva G.Yu. ....	275, 311, 321, 327, 339, 342
Vernigora L.V. ....	201
Vlasova A.V. ....	382
Voloshin O.V. ....	279
Vorobyova A.V. ....	311
Voskresenskov E.D. ....	36
Vostrikova L.V. ....	336
Yanovskaya M.L. ....	178, 182, 187
Yashin I.V. ....	33, 36
Yelnikov R.V. ....	235
Yudin A.F. ....	33, 36
Yusupov A.A. ....	178, 182
Yusupova A.K. ....	314
Zaichkin I.N. ....	28
Zakharkin V.S. ....	28
Zhamkov A.S. ....	226
Zhdanko I.M. ....	295
Zhdanova K.A. ....	45
Zhel'nina T.N. ....	108
Zhemaeva D.A. ....	398
Zhilyakova A.E. ....	178, 187
Zhukov G.E. ....	235
Zhuravleva O.A. ....	324, 330, 336
Zhuravleva T.V. ....	324, 330
Zolotarev I.A. ....	36
Абдуллин М.Р. ....	178, 186

Агапцева Т.Н. ....	308
Адамов Д.С. ....	372
Александров С.В. ....	102
Алексенко И.В. ....	178, 187
Алескеров А.М. ....	288
Алтунин В.А. ....	178, 182, 186
Алтунин К.В. ....	186
Андреев Д.Е. ....	39
Антонюк Г.И. ....	36
Ардыханов Б.И. ....	410
Асоскова Ю.В. ....	230
Афонин Б.В. ....	270
Баданов Н.С. ....	186
Белаковский М.С. ....	279, 308
Белкин А.А. ....	175
Белоконов И.В. ....	25
Бенгин В.В. ....	36
Бетанов В.В. ....	258
Богачёв С.А. ....	42
Богданов А.Н. ....	349
Богомолов А.В. ....	32, 36
Богомолов В.В. ....	32, 35
Боков С.Р. ....	367
Борзых С.В. ....	154, 159
Боровин Г.К. ....	245
Бронников С.В. ....	142, 145
Бычков Р.С. ....	154, 159
Васильев И.М. ....	275
Васильев М.М. ....	150
Васильева Г.Ю. ....	275, 311, 321, 327, 339, 342
Васильченко А.А. ....	400, 404
Вернигора Л.В. ....	201
Власова А.В. ....	382
Волошин О.В. ....	279
Воробьева А.В. ....	311
Воскресенсков Е.Д. ....	36
Вострикова Л.В. ....	336
Галаева К.И. ....	379



Гарипов Г.К. ....	32, 39
Гвоздкова К.В. ....	282
Гевак Н.В. ....	398
Геворгян В.М. ....	393
Герасютин С.А. ....	91
Гимадиев Р.Р. ....	311
Глазунова И.А. ....	54
Головин А.А. ....	28
Гордиенко Е.С. ....	237
Гордиенко К.В. ....	311, 327, 338
Горшкова Т.А. ....	28
Гостев А.Ю. ....	210
Грачева М.А. ....	288
Грушевицкая Т.Г. ....	79
Гуков А.В. ....	49
Гуртов А.С. ....	61
Гусев А.В. ....	164
Гуськов С.Г. ....	282
Даниличев С.Н. ....	293
Данов Е.А. ....	61
Даньшин А.С. ....	199
Дармограев М.С. ....	374
Дворников М.В. ....	282, 295
Дегтярев А.О. ....	11
Деменко О.Г. ....	204
Дрис И.И. ....	379
Дружинин Ю.О. ....	134
Дубинин В.И. ....	21
Дьячков Л.Г. ....	150
Егорочкин К.А. ....	28
Ельников Р.В. ....	235
Емельянов С.Г. ....	48
Ерхова Н.Ф. ....	42
Ефимов В.В. ....	367
Ефремова О.И. ....	275
Жамков А.С. ....	226
Жданова К.А. ....	45
Жданько И.М. ....	295

Желнина Т.Н. ....	108
Жемаева Д.А. ....	398
Жилякова А.Е. ....	178, 187
Жуков Г.Е. ....	235
Журавлева О.А. ....	324, 330, 336
Журавлева Т.В. ....	324, 330
Заичкин И.Н. ....	28
Захаркин В.С. ....	28
Золотарев И.А. ....	36
Иванов К.П. ....	302
Иванюхин А.В. ....	213, 222
Ивашкин В.В. ....	213, 222, 245
Июдин А.Ф. ....	32, 36
Каваносян С.С. ....	32
Казакова А.А. ....	288
Казмерчук П.В. ....	201
Калегаяев В.В. ....	33
Кальницкий И.Е. ....	171
Калужный Ю.С. ....	356
Канушкин С.В. ....	199
Канцеров А.И. ....	168
Карчаев Х.Ж. ....	4
Кирилук Е.В. ....	241
Кириченко А.С. ....	42
Киселев М.А. ....	356, 391
Киселева Е.К. ....	154
Кислицкий М.И. ....	168
Климов П.А. ....	33
Клюшников В.Ю. ....	51
Колинова С.А. ....	96
Кондратьев И.М. ....	349
Конюхов И.В. ....	39
Кореев Е.П. ....	182
Королева А.В. ....	242
Корянов В.В. ....	232
Костенков В.А. ....	358, 395
Костюрина А.А. ....	389
Котов О.В. ....	272

Куденко Д.А. ....	175
Кузин С.В. ....	42
Кузичкин Д.С. ....	324, 330
Кузьмин Е.К. ....	255
Кулешов Д.А. ....	398
Куссмауль А.Р. ....	308
Кутузова Л.А. ....	127
Кухаренко А.С. ....	232
Кучеренко И.А. ....	36
Лабецкая О.И. ....	330
Лазарев Н.Д. ....	28
Лазин И.Ю. ....	367
Лазуревская Ю.А. ....	351
Левочкин П.С. ....	96
Лизунов А.А. ....	58
Лизунов С.А. ....	58
Лизунова А.С. ....	58
Лисин Е.А. ....	151
Лобанов И.Е. ....	207
Лобода И.П. ....	42
Логинов В.И. ....	324
Логоватовская Е.С. ....	94
Лукичёва Н.А. ....	327
Львов М.В. ....	182
Майорова В.И. ....	28
Макарчев А.И. ....	311
Максимова И.Д. ....	282, 296
Максимовская Н.А. ....	86
Малиновская Е.О. ....	414
Мальшев А.Д. ....	282, 296
Мальцев Д.С. ....	362
Манько О.М. ....	289, 293, 321
Маркин А.А. ....	324, 330, 336
Маркина Е.А. ....	330
Маслов А.И. ....	58
Матюшев Т.В. ....	282, 295
Мацнев Э.И. ....	302
Медведева А.С. ....	379
Меденков А.А. ....	282, 296

Меликова М.Б. ....	365
Мельникова В.Г. ....	28
Менг Ж. ....	164
Михайлов А.Е. ....	237
Мошнин А.А. ....	265
Мусатова Т.П. ....	137
Мясников В.И. ....	226
Небараков А.Д. ....	372
Немцева А.С. ....	282
Нестеров Е.А. ....	19
Нечаев О.Ю. ....	36
Никитина О.А. ....	347
Никифоров В.Е. ....	65
Николайкин Н.И. ....	386
Ничипорук И.А. ....	324, 333
Новиков В.Е. ....	339
Овчарова А.С. ....	237
Овчинников М.Ю. ....	54
Огарков В.В. ....	68, 130
Орехов С.Е. ....	410
Орлов О.И. ....	321
Оседло В.И. ....	32, 36, 39
Пасекова О.Б. ....	302
Перепухов Д.Г. ....	54
Петров О.Ф. ....	151
Петухов В.Г. ....	210
Печейкина М.А. ....	376
Пинг З. ....	164
Пичугин С.Б. ....	171
Платонов Е.Н. ....	178
Погосян С.И. ....	39
Поляков А.В. ....	330
Поляков М.В. ....	272
Поляниченко А.А. ....	318
Преферансов Д.И. ....	391
Пронин К.А. ....	178, 186
Пушкин Д.С. ....	354
Пярых Н.С. ....	228

Раков Д.Л. ....	376
Рачкин Д.А. ....	28
Рева А.А. ....	42
Рогач Н.В. ....	342
Родич А.В. ....	362
Рубин А.Б. ....	39
Румянцев А.А. ....	168
Рыбалкина А.Л. ....	386
Рыбина А.С. ....	282, 296
Рюмин О.О. ....	318
Савватеева М.И. ....	414
Савенко О.А. ....	318
Савин С.Ф. ....	151
Савченко А.В. ....	226
Сазонов В.В. ....	33
Сазонов С.Ю. ....	49
Самбуров С.Н. ....	48
Санталова Я.А. ....	216
Сары Асуде ....	384
Саттаров А.Г. ....	191
Свертилов С.И. ....	32, 36, 39
Седов Е.А. ....	342
Сенчилов М.О. ....	321
Сервули Е.А. ....	339
Сергеев А.Д. ....	372
Середа В.Н. ....	362
Серова А.В. ....	324, 330, 336
Сигалева Е.Э. ....	302
Сигалева Т.В. ....	302
Сидоренко В.В. ....	245
Сидоренко Д.П. ....	342
Соломадин Ю.С. ....	270
Столяров Н.С. ....	369
Стукалов С.Б. ....	358, 395
Судаков В.С. ....	96
Суполкина Н.С. ....	314, 318
Сухой Ю.Г. ....	265
Твердохлебова Е.И. ....	32

Тененбаум С.М. ....	28
Тетерин Д.П. ....	48
Титенко Е.А. ....	48
Тихонова Г.А. ....	331
Томиловская Е.С. ....	275
Трофимов С.П. ....	54
Туркенич Р.П. ....	19
Турковский А.М. ....	168
Успенский А.В. ....	199
Федорова В.М. ....	414
Финогенов С.Л. ....	196
Фридлянд А.А. ....	369
Фролов С.Н. ....	48
Хоменко М.Н. ....	296
Хорунжий А.В. ....	68
Царев С.С. ....	77
Целоусова А.А. ....	54
Чурило И.В. ....	151
Чуркин А.А. ....	58
Шаров В.Д. ....	393
Швед Д.М. ....	314
Шейна М.А. ....	282
Шиленков Е.А. ....	48
Широбоков М.Г. ....	54
Шишурин А.В. ....	58
Шнейдмиллер В.Р. ....	61
Шувалов В.А. ....	32
Щеглов Г.А. ....	45
ЩигOLEV А.А. ....	182
Щитов А.Н. ....	49
Юсупов А.А. ....	178, 182
Юсупова А.К. ....	314

Яновская М.Л. ....	178, 182, 187
Яшин И.В. ....	33, 36

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ .....</b>	<b>4</b>
НАШ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ БАБАКИН (К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ КОНСТРУКТОРА КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ) Карчаев Х.Ж. ....	4
OUR GEORGY NIKOLAEVICH BABAKIN (ON 110 <sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BIRTH) Karchaev Kh.Zh. ....	4
К 110 ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО КОНСТРУКТОРА АКАДЕМИКА В.Н. ЧЕЛОМЕЯ Дегтярев А.О. ....	11
TO THE 110TH ANNIVERSARY OF THE BIRTHDAY OF THE GENERAL DESIGNER ACADEMICIAN V.N. CHELOMEY Degtyarev A.O. ....	11
ОН СТРОИЛ МОСТЫ ЧЕРЕЗ КОСМОС. К 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА М.Ф. РЕШЕТНЁВА Нестеров Е.А., Туркенич Р.П. ....	19
HE BUILT BRIDGES ACROSS THE SPACE. ON THE 100TH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN M.F. RESHETNEV Nesterov E.A., Turkenich R.P. ....	19
ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ОТБОРА В КОСМОНАВТЫ В ЦЕНТРЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ИМЕНИ Ю.А. ГАГАРИНА. К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Ю.А. ГАГАРИНА Дубинин В.И. ....	21
EVOLUTION OF THE COSMONAUT SELECTION SYSTEM YU.A.GAGARIN COSMONAUT TRAINING CENTER. TO THE 90TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF YU.A. GAGARIN Dubinin V.I. ....	21



**VIII СИМПОЗИУМ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ  
РОССИЙСКИХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ»..... 25**

ПРОЕКТ ГРУППИРОВКИ НАНОСПУТНИКОВ МОНИТОРИНГА  
СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА:  
ТЕКУЩИЙ ЭТАП И ПЛАНЫ СОЗДАНИЯ В РАМКАХ  
ПРОГРАММЫ «УНИВЕРСАТ»  
Белоконов И.В..... 25

THE PROJECT OF GROUPING NANOSATELLITES FOR  
MONITORING THE STATE OF THE IONOSPHERE OF SAMARA  
UNIVERSITY: THE CURRENT STAGE AND PLANS FOR CREATION  
WITHIN THE FRAMEWORK OF THE PROGRAM "UNIVERSAT"  
Belokonov I.V. .... 25

ОПЫТ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ  
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРЫ АИС НА БОРТУ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ТИПА CUBESAT  
Майорова В.И., Рачкин Д.А., Тененбаум С.М., Мельникова В.Г.,  
Лазарев Н.Д., Егорочкин К.А., Заичкин И.Н., Захаркин В.С.,  
Головин А.А., Горшкова Т.А..... 28

FLIGHT EXPERIENCE IN SPACE WEATHER MONITORING AND  
USING AIS EQUIPMENT ON-BOARD A CUBESAT SPACECRAFT  
Mayorova V.I., Rachkin D.A., Tenenbaum S.M., Melnikova V.G.,  
Lazarev N.D., Egorochkin K.A., Zaichkin I.N., Zakharkin V.S.,  
Golovin A.A., Gorskova T.A..... 28

РАЗВЕРТЫВАНИЕ ГРУППИРОВКИ НАНО-СПУТНИКОВ  
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА С ЦЕЛЬЮ МОНИТОРИНГА  
ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, А  
ТАКЖЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ И СОЛНЕЧНЫХ ГАММА-  
ВСПЛЕСКОВ  
Свертилов С.И., Твердохлебова Е.И., Оседло В.И., Шувалов В.А.,  
Каваносян С.С., Богомолов В.В., Богомолов А.В., Гарипов Г.К.,  
Июдин А.Ф., Калегает В.В., Климов П.А., Сазонов В.В., Яшин И.В. . 33

DEPLOYMENT OF MOSCOW UNIVERSITY NANO-SATELLITE  
CONSTELLATION FOR MONITORING OF HIGH ENERGY

ELECTRON FLUX VARIATION S AND ASTROPHYSICAL AND  
SOLAR GAMMA-RAY BURSTS  
Svertilov S.I., Tverdokhlebova E.I., Osedlo V.I., Shuvalov V.A.,  
Kavanosyan S.S., Bogomolov V.V., Bogomolov A.V., Garipov G.K.,  
Yudin A.F., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Sazonov V.V., Yashin I.V..... 33

ПЕРСПЕКТИВНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
БЫСТРЫХ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-  
ВСПЛЕСКОВ НА СПУТНИКАХ ФОРМАТА КУБСАТ  
Богомолов В.В., Свертилов С.И., Кучеренко И.А., Воскресенсков Е.Д.,  
Июдин А.Ф., Оседло В.И., Антонюк Г.И., Бенгин В.В., Богомолов  
А.В., Золотарев И.А., Нечаев О.Ю., Яшин И.В. .... 36

ADVANCED INSTRUMENTS FOR STUDY ELECTRON FLUX FAST  
VARIATIONS AND GAMMA RAY BURSTS ON SATELLITES OF  
CUBESAT FORMAT  
Bogomolov V.V., Svertilov S.I., Kucherenko I.A., Voskresenskov E.D.,  
Yudin A.F., Osedlo V.I., Antonyuk G.I., Bengin V.V., Bogomolov A.V.,  
Zolotarev I.A., Nechaev O.Y., Yashin I.V..... 36

АСТРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА СПУТНИКАХ  
ФОРМАТА КУБСАТ  
Гарипов Г.К., Рубин А.Б., Погосян С.И., Андреев Д.Е., Конюхов И.В.,  
Оседло В.И., Свертилов С.И..... 40

ASTROBIOLOGY EXPERIMENTS ON CUBESAT SATELLITES  
Garipov G.K., Rubin A.B., Pogosyan S.I., Andreev D.E., Konyukhov I.V.,  
Osedlo V.I., Svertilov S.I..... 40

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ГРУППИРОВКИ  
МАЛОРАЗМЕРНЫХ КА ДЛЯ МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО  
ПОЛЯ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ  
Богачёв С.А., Кузин С.В., Кириченко А.С., Ерхова Н.Ф., Лобода И.П.,  
Рева А.А., Reva A.A. .... 42

SCIENTIFIC BASIS FOR DEVELOPING A GROUP OF SMALL-SIZED  
SCATTERIES FOR MONITORING THE MAGNETIC FIELD IN NEAR-  
EARTH SPACE  
Bogachev S.A., Kuzin S.V., Kirichenko A.S., Erhova N.F., Loboda I.P.,  
Reva A.A. .... 42

ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СПУТНИКИ: ОБЗОР КОНЦЕПЦИЙ	
Жданова К.А., Щеглов Г.А. ....	45
SOFTWARE-DEFINED SATELLITES: CONCEPTION REVIEW	
Zhdanova K.A., Shcheglov G.A. ....	45
НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ НАНОСПУТНИКОВ	
Емельянов С.Г., Самбуров С.Н., Тетерин Д.П., Шиленков Е.А., Фролов С.Н., Титенко Е.А., Щитов А.Н., Сазонов С.Ю., Гуков А.В. ...	49
NEURAL NETWORK CONTROL METHOD FOR GROUP OF NANOSATELLITES	
Emelyanov S.G., Samburov S.N., Teterin D.P., Shilenkov E.A., Frolov S.N., Titenko E.A., Schitov A.N., Sazonov S.Yu., Gukov A.V. ....	49
СИНТЕЗ ОПТИЧЕСКОЙ АПЕРТУРЫ В КЛАСТЕРЕ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	
Клюшников В.Ю. ....	51
OPTICAL APERTURE SYNTHESIS IN A CLUSTER OF SMALL EARTH OBSERVATION SATELLITES	
Klyushnikov V.Yu. ....	51
ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МИССИЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ЛУНЕ	
Овчинников М.Ю., Глазунова И.А., Перепухов Д.Г., Трофимов С.П., Целоусова А.А., Ширококов М.Г. ....	54
POSSIBLE SCENARIOS OF DOMESTIC MISSIONS SMALL SPACECRAFT TO THE MOON	
Ovchinnikov M.Yu., Glazunova I.A., Perepukhov D.G., Trofimov S.P., Tselousova A.A., Shirobokov M.G. ....	54
ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКИЛОВАТТНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ АО «ВПК «НПО МАШИНОСТРОЕНИЯ»	

Лизунов С.А., Маслов А.И., Шишурин А.В., Лизунов А.А.,  
Чуркин А.А., Лизунова А.С. .... 58

HISTORY APPELICATION OF MULTIKILOWATT POWER SUPPLY  
SYSTEMS (PSS) FOR LEO SPACECRAFT DEVELOPED BY JSC MIC  
NPO MASHINOSTROYENIA

Lizunov S.A., Maslov A.I., Shishurin A.V., Lizunov A.A., Churkin A.A.,  
Lizunova A.S. .... 58

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
Гуртов А.С., Данов Е.А., Шнейдмиллер В.Р. .... 61

AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR SMALL  
SPACECRAFT OF MASS PRODUCTION

Gurtov A.S., Danov E.A., Schneidmiller V.R. .... 61

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ...  
Никифоров В.Е. .... 65

GENERALIZED CRITERION FOR EVALUATING THE  
EFFECTIVENESS OF SPACECRAFTS POWER SUPPLY SYSTEMS

Nikiforov V.E. .... 65

**СЕКЦИЯ 1. «ИССЛЕДОВАНИЕ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА  
К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО И ИСТОРИЯ РАКЕТНО-  
КОСМИЧЕСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ»..... 68**

ТРАДИЦИИ РОССИЙСКОЙ ИНТЕЛЛИГЕНЦИИ И «ФЕНОМЕН  
СОВЕТСКОГО ИНЖЕНЕРА»: К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ  
Хорунжий А.В., Огарков В.В. .... 68

TRADITIONS OF THE RUSSIAN INTELLIGENTSIA AND THE  
«PHENOMENON OF THE SOVIET ENGINEER»: TOWARDS  
A PROBLEM STATEMENT

Khorunzhiy A.V., Ogarkov V.V. .... 68

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО И РЭА  
ДАЛИО В РАМКАХ ТЕОРИИ РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Царев С.С.....	77
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WORKS OF K.E. TSIOLKOVSKY AND RAY DALIO IN THE FRAMEWORK OF THE THEORY OF THE DEVELOPMENT OF CIVILIZATION Tsarev S.S.....	77
ОТ СОВЕТСКОЙ К РОССИЙСКОЙ ФАНТАСТИКЕ: ИЗ СВЕТЛОГО/ПРОКЛЯТОГО БУДУЩЕГО В ТЁМНОЕ/СЧАСТЛИВОЕ ПРОШЛОЕ Грушевицкая Т.Г.....	79
FROM SOVIET TO RUSSIAN FICTION: FROM A BRIGHT/CURSED FUTURE TO A DARK/HAPPY PAST Grushevitskaya T.G. ....	79
МАЛОИЗВЕСТНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИЗНИ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО: ПО СТРАНИЦАМ НЕОПУБЛИКОВАННЫХ ДНЕВНИКОВ Л.К. ЦИОЛКОВСКОЙ Максимовская Н.А.....	86
LITTLE-KNOWN INFORMATION ABOUT THE LIFE OF K.E. TSIOLKOVSKY: FROM THE PAGES OF UNPUBLISHED DIARIES OF L.K. TSIOLKOVSKY Maximovskaya N.A. ....	86
МЕЧТЫ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО ОБ ОСВОЕНИИ КОСМОСА И РЕАЛЬНАЯ КОСМОНАВТИКА Герасютин С.А. ....	91
K.E. TSIOLKOVSKY'S DREAMS OF SPACE EXPLORATION AND REAL COSMONAUTICS Gerasyutin S.A.....	91
АРХИТЕКТУРА КОСМИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ В СВЕТЕ ИДЕЙ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО Логоватовская Е.С. ....	94
THE ARCHITECTURE OF SPACE CLUSTERS IN THE SOLAR SYSTEM IN THE LIGHT OF K.E. TSIOLKOVSKYS IDEAS Logovatovskaya E.S. ....	94

МОЩЬ ЭНЕРГОМАША. К 95-ЛЕТИЮ АО «НПО ЭНЕРГОМАШ ИМЕНИ АКАДЕМИКА В.П. ГЛУШКО» Левочкин П.С., Судаков В.С., Колинова С.А.....	96
POWER OF ENERGO MASH. TO 95-TH ANNIVERSARY OF NPO ENERGO MASH NAMED AFTER ACADEMICIAN V.P. GLUSHKO Lyovochkin P.S., Sudakov V.S., Kolinova S.A.....	96
В.В. РЮМИН - ПЕРВЫЙ ПОПУЛЯРИЗАТОР ТРУДОВ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО ПО КОСМОНАВТИКЕ. К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Александров С.В.....	102
V.V. RYUMIN - THE FIRST POPULARIZER OF K.E. TSIOLKOVSKY'S WORKS ON COSMONAUTICS. ON THE 150TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH Alexandrov S.V. ....	102
В.Н. СОКОЛЬСКИЙ - ИСТОРИК ТЕХНИКИ, ОРГАНИЗАТОР НАУКИ, НАСТАВНИК. К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Желнина Т.Н. ....	108
V.N. SOKOLSKY - HISTORIAN OF TECHNOLOGY, ORGANIZER OF SCIENCE, MENTOR. ON THE 100TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH Zheltnina T.N.....	108
ПОИСКИ И НАХОДКИ. НОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ К.Э.ЦИОЛКОВСКОГО В ФОНДАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО МУЗЕЯ ИСТОРИИ КОСМОНАВТИКИ ИМЕНИ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО Кутузова Л.А. ....	127
SEARCHES AND FINDINGS. NEW DOCUMENTS OF K.E. TSIOLKOVSKY IN THE FUNDS OF STATE MUSEUM OF THE HISTORY OF COSMONAUTICS NAMED AFTER K.E. TSIOLKOVSKY Kutuzova L.A. ....	127
НЕФОРМАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ ОКБ-1: СТЕННЫЕ ГАЗЕТЫ КАК ИСТОЧНИК ПО ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМОНАВТИКИ Огарков В.В.....	130

INFORMAL LIFE OF OKB-1: WALL NEWSPAPERS AS A SOURCE FOR THE HISTORY OF RUSSIAN COSMONAUTICS Ogarkov V.V. ....	130
РАБОТЫ Е.А. РОГОВСКОГО ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ Дружинин Ю.О. ....	134
THE WORKS OF EVGENY ALEXANDROVICH ROGOVSKY ON THE STUDY OF PLANETARY ATMOSPHERES Druzhinin Yu.O. ....	134
ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА ГАГАРИНА – ЖЕНА ПЕРВОГО КОСМОНАВТА ЗЕМЛИ Мусатова Т.П. ....	137
VALENTINA GAGARINA – THE WIFE OF THE FIRST COSMONAUT OF EARTH Musatova T.P. ....	137
<b>СЕКЦИЯ 2 «ПРОБЛЕМЫ РАКЕТНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»</b> .....	<b>142</b>
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА Бронников С.В. ....	142
DESIGN OF A SPACECRAFT CREW TRAINING SYSTEM Bronnikov S.V. ....	142
СТРУКТУРА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТОМ ПИЛОТИРУЕМОГО КА Бронников С.В. ....	145
STRUCTURE OF A MANNED SPACECRAFT FLIGHT CONTROL PROCESS Bronnikov S.V. ....	145

ЛАБОРАТОРИЯ НА РОС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД И СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ Васильев М.М., Дьячков Л.Г., Лисин Е.А., Петров О.Ф., Савин С.Ф., Чурило И.В. ....	151
LABORATORY ON ROS FOR INVESTIGATING OF ACTIVE DISPERS MATTER AND SYSTEMS IN THE MICROGRAVITY CONDITIONS Vasiliev M.M., Dyachkov L.G., Lisin E.A., Petrov O.F., Savin S.F., Churilo I.V. ....	151
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ СТВОРОК ОБТЕКАТЕЛЯ ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ В УСЛОВИЯХ НАЗЕМНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ Киселева Е.К., Бычков Р.С., Борзых С.В. ....	154
MODELING OF THE PROCESS OF SEPARATING THE FAIRING FLAPS OF A MANNED TRANSPORT SPACESHIP UNDER CONDITIONS OF GROUND EXPERIMENTAL WORKING Киселева Е.К., Бычков Р.С., Борзых С.В. ....	154
ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА МЯГКОЙ ПОСАДКИ ЛУННОГО ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОГО КОМПЛЕКСА С ПОСАДОЧНЫМ УСТРОЙСТВОМ ПРУЖИННО-РЫЧАЖНОГО ТИПА Бычков Р.С., Борзых С.В. ....	159
AN APPROACH TO MODELING THE SOFT LANDING PROCESS OF A LUNAR RUNWAY COMPLEX WITH A SPRING-LEVER-TYPE LANDING GEAR Bychkov R.S., Borzykh S.V. ....	159
СТРОИТЕЛЬНО-ПРОРЫВНОЕ ОСВОЕНИЕ ЛУНЫ VIII: 3D ПЕЧАТЬ НА ЛУНЕ Гусев А.В., Менг Ж., Пинг З. ....	164
CONSTRUCTION-BREAKTHROUGH DEVELOPMENT OF THE MOON VIII: 3D PRINTING ON THE MOON Gusev A.V., Meng Zh., Ping Z. ....	164



ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС СВЕРХВЫСОКОГО  
РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ И  
ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА  
Румянцев А.А., Кислицкий М.И., Канцеров А.И., Турковский А.М. 168

ULTRA-HIGH-RESOLUTION OPTICAL-ELECTRONIC COMPLEX  
BASED ON ADAPTIVE OPTICS AND PROSPECTS OF ITS USE FOR  
SPACE REMOTE SENSING THE EARTH  
Rumiantsev A.A., Kislitsky M.I., Kantserov A.I., Turkovsky A.M. .... 168

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ  
МЕЖСПУТНИКОВОГО ТРАКТА  
Кальницкий И.Е., Пичугин С.Б. .... 171

SELECTION OF OPTICAL MODULATION TECHNOLOGY FOR THE  
INTERSATELLITE LINK  
Kalnitskii I.E., Pichugin S.B. .... 171

ВОЗМОЖНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ  
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ  
Куденко Д.А., Белкин А.А.

POSSIBILITIES TO IMPROVE THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF  
THE SPACE ROCKETS PRODUCTION  
Kudenko D.A., Belkin A.A. .... 175

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А.,  
Юсупов А.А., Алексенко И.В., Жилиякова А.Е., Яновская М.Л. .... 178

PROBLEMS OF CREATION OF REUSABLE LIQUID ROCKET  
ENGINES  
Altunin V.A., Platonov E.N., Abdullin M.R., Pronin K.A., Yusupov A.A.,  
Aleksenko I.V., Zhilyakova A.E., Yanovskaya M.L. .... 178

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ К МОТОРНОМУ АВИАЦИОННОМУ МАСЛУ В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОДНО– И МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. ....	182
DEVELOPMENT OF METHODS FOR CALCULATING THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT TO AVIATION ENGINE OIL UNDER CONDITIONS OF ITS FORCED CONVECTION UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELDS FOR AVIATION AND AEROSPACE ENGINES, SINGLE AND REUSABLE Altunin V.A., Lvov M.V., Schigolev A.A., Yusupov A.A., Koreev E.P., Yanovskaya M.L. ....	182
ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ОСАДКООБРАЗОВАНИЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Баданов Н.С., Алексенко И.В., Жилиякова А.Е., Яновская М.Л. ....	187
APPLICATION OF NEW METHODS TO COMBAT SEDIMENT FORMATION IN THE DEVELOPMENT OF NEW DESIGN DIAGRAMS OF FUEL INJECTORS FOR JET AIR ENGINES AND AEROSPACE AIRCRAFT Altunin V.A., Altunin K.V., Abdullin M.R., Pronin K.A., Badanov N.S., Aleksenko I.V., Zhilyakova A.E., Yanovskaya M.L. ....	187
АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАКЕТОНОСИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ Саттаров А.Г. ....	191
ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LAUNCH VEHICLES OF TRANSPORT SPACE SYSTEMS Sattarov A.G. ....	191

ПРОЕКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖОРБИТАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С СОЛНЕЧНЫМ ТЕПЛОВЫМ РАКЕТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ Финогенов С.Л. ....	196
PERFORMANCES OF INTER-ORBITAL SPACECRAFT WITH ADVANCED SOLAR THERMAL PROPULSION Finogenov S.L. ....	196
АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ Канушкин С.В., Успенский А.В., Даньшин А.С. ....	199
ADAPTIVE CONTROL ALGORITHMS NONLINEAR DYNAMIC OBJECTS Kanushkin S.V., Uspensky A.V., Danshin A.S. ....	199
ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ И ГРАВИТАЦИОННЫХ МАНЁВРОВ КА С МАЛОЙ ТЯГОЙ Казмерчук П.В., Вернигора Л.В. ....	201
OPTIMIZATION OF TRAJECTORIES AND GRAVITY-ASSIST MANEUVERS OF LOW-THRUST SPACECRAFT Kazmerchuk P.V., Vernigora L.V. ....	201
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИВЕДЁННЫХ УДАРНЫХ СПЕКТРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КА Деменко О.Г. ....	204
USE OF THE REDUCED SHOCK SPECTRA TO PREDICT THE LEVEL OF OPERATIONAL SHOCK LOADING OF SPACECRAFT ONBOARD EQUIPMENT Demenko O.G. ....	204
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧНОСТИ НА ГИДРОСОПРОТИВЛЕНИЕ И ТЕПЛООБМЕН В ТРУБАХ С ПОЛУКРУГЛЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ ВОЗДУХА НА БАЗЕ МОДЕЛИ МЕНТЕРА Лобанов И.Е. ....	207

THEORETICAL STUDY OF THE EFFECT OF NON-ISOTHERMICALITY ON HYDRORESISTANCE AND HEAT TRANSFER IN PIPES WITH SEMICIRCULAR TURBULATORS DURING TURBULENT AIR FLOW BASED ON THE MENTER MODEL  
Lobanov I.E. .... 207

**СЕКЦИЯ 3. «К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ И МЕХАНИКА КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА» ..... 210**

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ЭЛЕКТРОРАКЕТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ НА ВЫСОКУЮ ЭЛЛИПТИЧЕСКУЮ ОРБИТУ  
Гостев А.Ю., Петухов В.Г. .... 210

OPTIMIZATION OF TRAJECTORY FOR INSERTING A SPACECRAFT WITH ELECTRIC PROPULSION SYSTEM INTO A HIGH ELLIPTICAL ORBIT  
Gostev A.Y., Petukhov V.G. .... 210

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭЙЛЕРА-ЛАМБЕРТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОХОЦИМСКОГО-ЕГОРОВА  
Ивашкин В.В., Иванюхин А.В. .... 213

AN ALGORITHM FOR SOLVING THE EULER-LAMBERT PROBLEM BASED ON THE OKHOTSIMSKY-EGOROV METHOD  
Ivashkin V.V., Ivanyukhin A.V. .... 213

КОНЦЕПЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЛУННОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ С БАЛЛИСТИЧЕСКИМ ОБОСНОВАНИЕМ ЕЁ РАСПОЛОЖЕНИЯ  
Санталова Я.А. .... 216

PERSPECTIVE ORBITAL MOON STATION CONCEPT WITH POSITIONING BALLISTIC FOUNDATION  
Santalova Y.A. .... 216

НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕЛЁТ К АСТЕРОИДУ АПОФИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВАРИАНТНЫХ МНОГООБРАЗИЙ У ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ  
Иванюхин А.В., Ивашкин В.В. .... 222

LOW-ENERGY TRANSFER TO THE ASTEROID APOPHIS USING INVARIANT MANIFOLDS OF LIBRATION POINTS Ivanyukhin A.V., Ivashkin V.V.....	222
ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К ОРБИТАЛЬНОМУ СЕГМЕНТУ МНОГОСПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ Жамков А.С., Мясников В.И., Савченко А.В.....	226
APPROACH OF THE VALIDITY OF THE REQUIREMENTS FOR THE ORBITAL SEGMENT OF THE REMOTE SENSING MULTI-SATELLITE CONSTELLATION Zhamkov A.S., Myasnikov V.I., Savchenko A.V.....	226
ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МНОГОСПУТНИКОВОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ КРАТНЫХ ОРБИТ Пятых Н.С. ....	228
DESIGN OF REMOTE SENSING MULTI-SATELLITE CONSTELLATION APPROACH BY MEANS MULTIPLE ORBITS Pyatykh N.S. ....	228
ОЦЕНКА ОПЕРАТИВНОСТИ ДОСТАВКИ ДАННЫХ С МНОГОСПУТНИКОВОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ В НАЗЕМНЫЕ ПУНКТЫ ПРИЁМА ИНФОРМАЦИИ Асоскова Ю.В. ....	230
ASSESSING THE EFFICIENCY OF DATA DELIVERY FROM A PROMISING MULTI-SATELLITE ORBITAL CONSTELLATION TO GROUND-BASED COMPLEX FOR RECEIVING INFORMATION Asoskova Yu.V.....	230
УГЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СПУСКАЕМОГО АППАРАТА С УПРАВЛЕНИЕМ ВНУТРЕННЕЙ ПОДВИЖНОЙ МАССОЙ Корянов В.В., Кухаренко А.С.....	232
ANGULAR MOTION OF THE DESCENT VEHICLE CONTROLLED BY AN INTERNAL MOVING MASS Koryanov V.V., Kukharenko A.S.....	232

О ЗАДАЧЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОРБИТАХ МАЛОГО НАКЛОНЕНИЯ Ельников Р.В., Жуков Г.Е. ....	235
ON THE TASK OF DEPLOYING A SPACE SYSTEM FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH IN LOW-INCLINATION ORBITS Yelnikov R.V., Zhukov G.E. ....	235
АНАЛИЗ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРБИТУ ВОКРУГ ЛУНЫ ЧЕРЕЗ ТОЧКУ ЛИБРАЦИИ $L_2$ СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ Гордиенко Е.С., Овчарова А.С., Михайлов А.Е. ....	237
THE ANALYSIS OF A LOW-ENERGY SCHEME TO LAUNCH A SPACECRAFT INTO ORBIT AROUND THE MOON THROUGH THE $L_2$ LIBRATION POINT OF THE SUN-EARTH SYSTEM Gordienko E.S., Ovcharova A.S., Mikhailov A.E. ....	237
ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕЛЁТОВ ОРБИТАЛЬНЫХ БЛОКОВ НА ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ОРБИТЫ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ДОВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ЦЕЛЕВЫЕ ОРБИТЫ Кирилюк Е.В., Королева А.В. ....	242
OPTIMIZATION OF ORBITAL BLOCK FLIGHTS TO TRANSITION ORBITS FOR SUBSEQUENT ORBIT RAISING OF SPACECRAFT TO TARGET ORBITS Kiriliuk E.V., Koroleva A.V. ....	242
К 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ЭНЕЕВА Т.М. – ОДНОГО ИЗ ОСНОВОПОЛОЖНИКОВ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ МЕХАНИКИ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА Боровин Г.К., Ивашкин В.В., Сидоренко В.В. ....	245
TO THE 100 <sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN ENEEV T.M. – ONE OF THE FOUNDERS OF MODERN THEORY AND PRACTICE OF SPACE FLIGHT MECHANICS Borovin G.K., Ivashkin V.V., Sidorenko V.V. ....	245

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЛИЧЕНИЯ ШКАЛ ВРЕМЕНИ СРЕДСТВАМИ БЕЗЗАПРОСНОЙ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Кузьмин Е.К. ....	255
ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF COMPARISON OF TIME SCALES BY MEANS OF SLR Kuzmin E.K. ....	255
ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЁННЫХ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ КА Бетанов В.В. ....	258
APPLICATION OF GENERALIZED STRUCTURAL PROPERTIES OF MEASUREMENT PROBLEMS TO IDENTIFY THE PARAMETERS OF A MATHEMATICAL MODEL OF SPACECRAFT MOTION Betanov V.V. ....	258
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ Сухой Ю.Г., Мошнин А.А. ....	265
SIMULATION OF THE MOTION OF A LOW-ORBIT SPACECRAFT IN THE EARTH'S ATMOSPHERE UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF HELIOGEOPHYSICAL DISTURBANCES Sukhoi Yu.G., Moshnin A.A. ....	265
<b>СЕКЦИЯ 4. «К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ И ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ» .....</b>	<b>270</b>
МЕТОДИКА НАКОЖНОЙ ЭЛЕКТРОГАСТРОЭНТЕРОГРАФИИ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА В ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТАХ Соломадин Ю.С., Афонин Б.В. ....	270

THE METHOD OF CUTANEOUS ELECTROGASTROENTEROGRAPHY IN ASSESSING THE FUNCTIONAL STATE OF VARIOUS PARTS OF THE GASTROINTESTINAL TRACT IN LONG-TERM SPACE FLIGHTS Solomadin Y.S., Afonin B.V. ....	270
К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ: ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБИТАЕМОСТИ КОСМОНАВТОВ Котов О.В., Поляков М.В. ....	272
К.Е. TSIOLKOVSKY: ERGONOMIC PROBLEMS OF ASTRONAUTS' HABITABILITY Kotov O.V., Polyakov M.V. ....	272
ВЛИЯНИЕ 5-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ НА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕН МАЛОГО ТАЗА У ЖЕНЩИН РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА (ЭКСПЕРИМЕНТ «IMMERSION-5F-LF») Васильев И.М., Ефремова О.И., Томиловская Е.С., Васильева Г.Ю. ....	275
THE EFFECT OF 5-DAY "DRY" IMMERSION ON HEMODYNAMIC PARAMETERS OF PELVIC VEINS IN WOMEN OF REPRODUCTIVE AGE (IMMERSION-5F-LF EXPERIMENT) Vasilev I.M., Efremova O.I., Tomilovskaya E.S., Vassilieva G.Yu. ....	275
НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ДОСТИЖЕНИЙ В КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ Волошин О.В., Белаковский М.С. ....	279
NEW APPROACHES TO POPULARIZATION OF ACHIEVEMENTS IN SPACE BIOLOGY AND MEDICINE Voloshin O.V., Bелаковский М.С. ....	279
О ЮБИЛЕЯХ УЧЁНЫХ ИНСТИТУТА АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ И ИХ ВКЛАДЕ В АВИАКОСМИЧЕСКУЮ МЕДИЦИНУ Гвоздкова К.В., Гуськов С.Г., Дворников М.В., Максимова И.Д., Матюшев Т.В., Меденков А.А., Малышев А.Д., Рыбина А.С., Немцева А.С., Шейна М.А. ....	282



ABOUT ANNIVERSARIES OF SCIENTISTS OF THE INSTITUTE OF AVIATION AND SPACE MEDICINE AND THEIR CONTRIBUTION TO AEROSPACE MEDICINE

Gvozdkova K.V., Guskov S.G., Dvornikov M.V., Maksimova I.D., Matyushev T.V., Medenkov A.A., Malyshev A.D., Rybina A.S., Nemtseva A.S., Sheina M.A. .... 282

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ИСПЫТАТЕЛЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С 21-ДНЕВНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИЕЙ

Грачева М.А., Казакова А.А., Алескеров А.М., Манько О.М. .... 289

EYE RETINA INVESTIGATION IN 21-DAY HEAD-DOWN TILT BED REST

Gracheva M.A., Kazakova A.A., Aleskerov A.M., Manko O.M. .... 289

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ДИСКА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА В ДЛИТЕЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЁТЕ

Даниличев С.Н., Манько О.М. .... 293

MONITORING THE CONDITION OF THE OPTIC NERVE DISC DURING A LONG-TERM SPACE FLIGHT

Danilichev S.N., Manko O.M. .... 293

РОССИЙСКОЙ АВИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ 115 ЛЕТ

Дворников М.В., Жданько И.М., Матюшев Т.В., Меденков А.А., Максимова И.Д., Малышев А.Д., Рыбина А.С., Хоменко М.Н. .... 296

RUSSIAN AVIATION MEDICINE IS 115 YEARS OLD

Dvornikov M.V., Zhdanko I.M., Matyushev T.V., Medenkov A.A., Maksimova I.D., Malyshev A.D., Rybina A.S., Khomenko M.N. .... 296

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНА СЛУХА ДОБРОВОЛЬЦЕВ В УСЛОВИЯХ 21-СУТОЧНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

Сигалева Е.Э., Пасекова О.Б., Сигалева Т.В., Иванов К.П., Мацнев Э.И. .... 302

FUNCTIONAL STATE OF THE HEARING ORGAN OF VOLUNTEERS  
UNDER CONDITIONS OF 21-DAY ANTIORTHOSTATIC  
HYPOKINESIA

Sigaleva E.E., Pasekova O.B., Sigaleva T.V., Ivanov K.P., Matsnev E.I. 302

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В КОСМИЧЕСКИХ  
АНАЛОГОВЫХ ПРОЕКТАХ В НОВЫХ РЕАЛИЯХ

Куссмауль А.Р., Белаковский М.С., Агапцева Т.Н. .... 308

INTERNATIONAL COOPERATION IN SPACE ANALOG PROJECTS  
IN NEW REALITIES

Kussmaul A.R., Belakovskiy M.S., Agaptseva T.N. .... 308

БИОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ АЗОТИСТОГО И ВОДНО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО  
ОБМЕНА В МОЧЕ ЖЕНЩИН-УЧАСТНИЦ 5-СУТОЧНОЙ  
«СУХОЙ» ИММЕРСИИ (ЭКСПЕРИМЕНТ «IMMERSION-5F-LF»)

Макарчев А.И., Гимадиев Р.Р., Воробьева А.В., Гордиенко К.В.,  
Васильева Г.Ю. .... 311

BIOCHEMICAL STUDY OF THE DYNAMICS OF NITROGEN AND  
WATER-ELECTROLYTE METABOLISM IN THE URINE OF WOMEN  
PARTICIPATING IN 5-DAY "DRY" IMMERSION («IMMERSION-5F-  
LF» EXPERIMENT)

Makarchev A.I., Gimadiev R.R., Vorobyova A.V., Gordienko K.V.,  
Vassilieva G.Yu. .... 311

ОСОБЕННОСТИ КОММУНИКАТИВНОЙ СИСТЕМЫ «ЭКИПАЖ-  
ЦУП»

Суполкина Н.С., Юсупова А.К., Швед Д.М. .... 314

PECULIARITY OF THE CREW-MCC COMMUNICATION SYSTEM

Supolkina N.S., Yusupova A.K., Shved D.M. .... 314

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ КОММУНИКАТИВНО-ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ  
СФЕРЫ КОСМОНАВТА ВО ВРЕМЯ ПОЛЁТА

Поляниченко А.А., Суполкина Н.С., Рюмин О.О., Савенко О.А. .... 318

ASSESSMENT OF ASTRONAUT'S COMMUNICATION-  
BEHAVIORAL SPHERES DURING THE MISSION

Polyanichenko A.A., Supolkina N.S., Rumin O.O., Savenko O.A. .... 318

ИЗУЧЕНИЕ СЛЁЗНОЙ ЖИДКОСТИ КАК БИОМАРКЕРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА К МИКРОГРАВИТАЦИИ Сенчилов М.О., Манько О.М., Васильева Г.Ю., Орлов О.И.....	321
THE STUDY OF LACRIMAL FLUID AS A BIOMARKER OF FUNCTIONAL ADAPTATION OF THE BODY TO MICROGRAVITY Senchilov M.O., Manko O.M., Vassilieva G.Yu., Orlov O.I.....	321
МАРКЕРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У КОСМОНАВТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА Кузичкин Д.С., Журавлева О.А., Ничипорук И.А., Маркин А.А., Журавлева Т.В., Серова А.В., Логинов В.И. ....	324
CARDIOVASCULAR DISEASES RISK MARKERS IN COSMONAUTS EXPOSED TO SPACE FLIGHT FACTORS Kuzichkin D.S., Zhuravleva O.A., Nichiporuk I.A., Markin A.A., Zhuravleva T.V., Serova A.V., Loginov V.I. ....	324
РЕГУЛЯТОРЫ КАЛЬЦИЙ-ФОСФОРНОГО ОБМЕНА В КРОВИ КРЫС ПОСЛЕ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ Лукичёва Н.А., Гордиенко К.В., Васильева Г.Ю.....	327
REGULATORS OF CALCIUM-PHOSPHATE METABOLISM IN RATS' BLOOD AFTER HINDLIMB UNLOADING Lukicheva N.A., Gordienko K.V., Vassilieva G.Yu.....	327
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА У ИСПЫТАТЕЛЕЙ-ДОБРОВОЛЬЦЕВ ПРИ НАХОЖДЕНИИ В ГИПОМАГНИТНОЙ СРЕДЕ КОСМИЧЕСКОГО УРОВНЯ Маркина Е.А., Журавлева О.А., Серова А.В., Кузичкин Д.С., Маркин А.А., Журавлева Т.В., Поляков А.В., Лабетская О.И., Тихонова Г.А.....	331
STUDY OF LIPID METABOLISM INDICES IN VOLUNTEERS WHILE IN A HYPOMAGNETIC ENVIRONMENT OF A SPACE LEVEL Markina E.A., Zhuravleva O.A., Serova A.V., Kuzichkin D.S., Markin A.A., Zhuravleva T.V., Polyakov A.V., Labetskaya O.I., Tikhonova G.A. ....	331

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К ОРБИТАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ПОЛЁТАМ Ничипорук И.А. ....	333
PREDICTING THE SUCCESS OF HUMAN ADAPTATION TO THE ORBITAL SPACE FLIGHTS Nichiporuk I.A. ....	333
ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПУЛА ЖЕЛЕЗА В КРОВИ КОСМОНАВТОВ ПОСЛЕ ОРБИТАЛЬНЫХ ПОЛЁТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ Серова А.В., Журавлева О.А., Вострикова Л.В., Маркин А.А. ....	336
THE DYNAMICS OF INDICES OF THE IRON TRANSPORT POOL IN THE BLOOD OF COSMONAUTS AFTER DIFFERENT DURATIONS ORBITAL FLIGHTS Serova A.V., Zhuravleva O.A., Vostrikova L.V., Markin A.A. ....	336
ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕНСИТОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ КОСТНОГО ГОМЕОСТАЗА ВО ВРЕМЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ Гордиенко К.В., Сервули Е.А., Новиков В.Е., Васильева Г.Ю. ....	339
APPLICATION OF ULTRASONIC DENSITOMETRY TO ASSESS THE DYNAMICS OF BONE HOMEOSTASIS DURING ISOLATION EXPERIMENTS Gordienko K.V., Servuli E.A., Novikov V.E., Vassilieva G.Yu. ....	339
СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ НЕЙРОСПЕЦИФИЧЕСКИХ БИОМАРКЕРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА Седов Е.А., Сидоренко Д.П., Рогач Н.В., Васильева Г.Ю. ....	342
MODERN POSSIBILITIES FOR DIAGNOSTICS OF NEUROSPECIFIC BIOMARKERS IN MODELING SPACE FLIGHT FACTORS Sedov E.A., Sidorenko D.P., Rogach N.V., Vassilieva G.Yu. ....	342

**СЕКЦИЯ 5. «АВИАЦИЯ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ» ..... 347**

С.А. ЧАПЛЫГИН – УЧЕНИК И СОРАТНИК ПРОФЕССОРА  
Н.Е. ЖУКОВСКОГО  
Никитина О.А. .... 347

S.A. CHAPLYGIN – A STUDENT AND ASSOCIATE OF PROFESSOR  
N.E. ZHUKOVSKY  
Nikitina O.A. .... 347

К 120-ЛЕТИЮ КОНЦЕПЦИИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ. ПАМЯТИ  
ЛЮДВИГА ПРАНДТЛЯ (1875–1953)  
Богданов А.Н., Кондратьев И.М. .... 349

TO THE 120<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BOUNDARY LAYER  
CONCEPT. IN MEMORY OF LUDWIG PRANDTL (1875–1953)  
Bogdanov A.N., Kondratiev I.M. .... 349

АВИАЦИЯ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ НА ДОНУ В НАЧАЛЕ XX  
ВЕКА  
Лазуревская Ю.А. .... 351

AVIATION AND AERONAUTICS ON THE DON AT THE  
BEGINNING OF THE XX CENTURY  
Lazurevskaya Yu.A. .... 351

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ДАННЫХ ТУРБОВАЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ:  
АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ РАЗРАБОТОК И ПОДХОДОВ  
Пушкин Д.С. .... 354

EVALUATION OF THE BASIC DATA OF TURBOSHAFT ENGINES:  
ANALYSIS OF RUSSIAN DEVELOPMENTS AND APPROACHES  
Pushkin D.S. .... 354

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОЙ РЕКОНФИГУРАЦИИ  
МАРШРУТА ПОЛЁТА ВЕРТОЛЁТА ТИПА МИ-8  
Киселев М.А., Калюжный Ю.С. .... 356

SOME RESULTS OF OPERATIONAL RECONFIGURATION OF THE  
MI-8 HELICOPTER FLIGHT ROUTE  
Kiselev M.A., Kalyuzhny Y.S. .... 356

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ В ЗОНЕ ПОСАДКИ БПЛА	358
Stukalov S.B., Kostenkov V.A. ....	
AUTOMATED OPTOELECTRONIC POSITIONING IN THE UAV LANDING ZONE	358
Stukalov S.B., Kostenkov V.A. ....	
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНО- ВЛАЖНОСТНОГО ФАКТОРА СНАРУЖИ И ВНУТРИ ВОЗДУШНОГО СУДНА	362
Мальцев Д.С., Родич А.В., Середа В.Н. ....	
STATISTICAL ANALYSIS TEMPERATURE-HUMIDITY FACTOR OUTSIDE AND INSIDE THE AIRCRAFT	362
Maltsev D.S., Rodich A.V., Sereda V.N. ....	
ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ТИПОЛОГИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ	365
Меликова М.Б. ....	
ERGONOMICAL TYPOLOGY OF CONTROLLED OBJECTS	365
Melikova M.B. ....	
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ	367
Боков С.Р., Ефимов В.В., Лазин И.Ю. ....	
THE CIVIL AVIATION UNMANNED AIRCRAFT CARGO TRANSPORTATION PROBLEMS ANALYSIS	367
Vokov S.R., Efimov V.V., Lazin I.U. ....	
ИНТЕГРАЦИЯ ESG-ПРИНЦИПОВ В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАКОМПАНИЙ	369
Столяров Н.С., Фридлянд А.А. ....	
INTEGRATION OF ESG-PRINCIPLES IN AIRLINE OPERATIONS	369
Stolyarov N.S., Friedland A.A. ....	

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИОВЫСОТОМЕРА РВ-85 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СПЕЦИФИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Сергеев А.Д., Небарakov А.Д., Адамов Д.С. ....	372
MODERNIZATION OF THE RV-85 RADIO ALTIMETER DURING OPERATION IN SPECIFIC METEOROLOGICAL CONDITIONS Sergeev A.D., Nebarakov A.D., Adamov D.S. ....	372
АЛГОРИТМ РАБОТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДОПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ СБЛИЖЕНИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВОЗДУХЕ ПРИ ОТСУТСТВИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА БОРТУ Дармограев М.С. ....	374
THE ALGORITHM OF THE FUNCTIONAL COMPLEMENT OF THE WARNING SYSTEM FOR DANGEROUS APPROACHES OF AIRCRAFT IN THE AIR IN THE ABSENCE OF SECONDARY RADAR EQUIPMENT ON BOARD Darmograev M.S. ....	374
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ Печейкина М.А., Раков Д.Л. ....	376
PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MANNED AIRCRAFT WITH ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS Pecheykina M.A., Rakov D.L. ....	376
ОПТИМИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ГРАДА В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ДЛЯ ЗАДАЧ АЭРОНАВИГАЦИИ Галаева К.И., Медведева А.С., Дрис И.И. ....	379
OPTIMIZATION OF HAIL CLASSIFICATION CRITERIA IN THE METEOROLOGICAL RADAR COMPLEX OF THE NEAR ZONE FOR AIR NAVIGATION TASKS Galaeva K.I., Medvedeva A.S., Dris I.I. ....	379

ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ АЭРОПОРТА КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ Власова А.В.....	382
THE ORGANIZATION OF THE AIRPORT ORNITHOLOGICAL SERVICE ACTIVITIES AS A FACTOR OF ENSURING FLIGHT SAFETY Vlasova A.V. ....	382
ИССЛЕДОВАНИЕ УТОМЛЯЕМОСТИ ОПЕРАТОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Сары Асуде.....	384
INVESTIGATION OF OPERATOR FATIGUE IN UNMANNED AERIAL VEHICLES Sari Asude.....	384
ВНЕШНЯЯ СРЕДА И ОШИБКИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА АВИАПРЕДПРИЯТИЙ Николайкин Н.И., Рыбалкина А.Л. ....	386
EXTERNAL ENVIRONMENT AND ERRORS OF AIRLINE ENTERPRISES MAINTENANCE STAFF Nikolaykin N.I., Rybalkina A.L. ....	386
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СТРЕССА И УТОМЛЯЕМОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА Костюрина А.А. ....	389
RESEARCHING THE CAUSES OF MAINTENANCE STAFF STRESS AND FATIGUE Kostyurina A.A.....	389
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОДХОДОВ К ПОДГОТОВКЕ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА Киселев М.А., Преферансов Д.И.....	391
ANALYSIS OF EXISTING AND PROSPECTIVE APPROACHES TO THE TRAINING OF AVIATION PERSONNEL Kiselev M.A., Preferansov D.I. ....	391



ПОДГОТОВКА ЛЁТНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ Геворгян В.М., Шаров В.Д. ....	393
TRAINING OF FLIGHT PERSONNEL FOR PROMISING AIRCRAFT Gevorgian V.M., Sharov V.D. ....	393
ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА Костенков В.А., Стукалов С.Б. ....	395
APPLICATION OF NEW MATERIALS FOR RADIOELECTRONIC EQUIPMENT AIR TRANSPORT EQUIPMENT Kostenkov V.A., Stukalov S.B. ....	395
ГРАФ-МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБЗОРА ЛЁТНОГО ПОЛЯ «АЛЬКОР» Жемаева Д.А., Кулешов Д.А., Гевак Н.В. ....	398
GRAPH-MODEL OF THE PULSE AMPLIFIER MODULE OF THE SURFACE MOVEMENT RADAR STATION «ALKOR» Zhemaeva D.A., Kuleshov D.A., Gevak N.V. ....	398
ОЦЕНКА РЕАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ТРАЕКТОРНОГО КОНТРОЛЯ Васильченко А.А. ....	400
ASSESSMENT OF THE ACTUAL VISIBILITY RANGE OF TRAJECTORY CONTROL Vasilchenko A.A. ....	400
ТОЧНОСТНОЙ КРИТЕРИЙ КАК ОСНОВА РОЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ В ХОДЕ ТРАЕКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ БПЛА Васильченко А.А. ....	404
ACCURACY CRITERION AS THE BASIS OF STEERING DURING TRAJECTORY CONTROL BY MEASURING UAV Vasilchenko A.A. ....	404

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ LORA И LORAWAN В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ Орехов С.Е., Ардыханов Б.И. ....	410
ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF LORA AND LORAWAN TECHNOLOGY IN PROMISING SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS Orekhov S.E., Ardykhanov B.I. ....	410
<b>СЕКЦИЯ 10 (ДОПОЛНЕНИЕ). «К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ И ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ».....</b>	<b>414</b>
НОВЫЕ ФОРМЫ КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГМИК ИМ. К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО. АУДИОСПЕКТАКЛЬ-ПРОМЕНАД «РАКЕТЫ. КОРАБЛИ. ЛЮДИ» Савватеева М.И., Малиновская Е.О., Федорова В.М. ....	414
NEW FORMS OF CULTURAL AND EDUCATIONAL ACTIVITIES IN THE THE TSIOLKOVSKY STATE MUSEUM OF THE HISTORY OF COSMONAUTICS. THE AUDIO STREET PERFORMANCE «ROCKETS. SHIPS. PEOPLE» Savvateeva M.I., Malinovskaya E.O., Fedorova V.M. ....	414
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>	<b>417</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ.....</b>	<b>432</b>