

МОСКОВСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ КЛУБ
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА**
**ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ
ИМЕНИ С. И. ВАВИЛОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПИЛОТИРУЕМАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА МАРС
С УЧАСТИЕМ РОССИИ В 2030-2040 ГОДАХ**
**(исторические, методологические, научно-технические и
другие аспекты)**

**Сборник материалов
Круглого стола 2 апреля 2025 г.,
Москва, МГТУ имени Н. Э. Баумана**

Москва – 2025

УДК 629.788

ББК 20.1 39.6

М 43

Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах (исторические, методологические, научно-технические и другие аспекты). Сборник материалов Круглого стола 2 апреля 2025 г., Москва, МГТУ имени Н. Э. Баумана / Отв. ред. С. В. Кричевский. М.: ИИЕТ РАН, 2025. 194 с. 9,5 Мб. Электронное издание. ISBN 978-5-98866-084-2

В сборнике публикуются материалы Круглого стола «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах», который был инициирован Московским космическим клубом (МКК) в феврале 2025 г., организован и проведен совместно с Московским государственным техническим университетом (МГТУ) имени Н. Э. Баумана 2 апреля 2025 г. в открытом научном и общественном формате, в междисциплинарной постановке.

Материалы сборника отражают предысторию и историю, сложную современную ситуацию, возможности, проблемы и перспективы организации, подготовки и реализации международной пилотируемой экспедиции на Марс с участием России в XX-XXI веках.

Круглый стол прошел в конференц-зале Учебно-лабораторного корпуса МГТУ имени Н. Э. Баумана с участием более 100 человек – представителей космического, научного, образовательного сообществ России: трех академиков Российской академии наук, ряда специалистов сферы космической деятельности – сотрудников госкорпорации Роскосмос, Федерального медико-биологического агентства РФ, научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений Минобрнауки России, в т. ч. профессоров, преподавателей, аспирантов и студентов МГТУ имени Н. Э. Баумана, Московского авиационного института, МГУ имени М. В. Ломоносова, а также членов МКК, Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, представителей институтов развития и частных космических компаний, журналистов и др.

В сборник включены: предисловие ответственного редактора; сведения об участниках Круглого стола – основных докладчиках, 15-ти авторах сборника; 12 статей по материалам и в последовательности основных докладов Круглого стола, посвященных историческим, методологическим, научно-техническим, медико-биологическим, политическим, социальным, экономическим, экологическим, образовательным и другим аспектам; 3 приложения: краткий отчет о Круглом столе; Решение Круглого стола; иллюстрации.

Тексты статей публикуются в авторской редакции.

Редакционная коллегия:

Жуков С. А. – кандидат технических наук, президент Московского космического клуба;

Кричевский С. В. – доктор философских наук, кандидат технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела истории техники и технических наук ИИЕТ имени С. И. Вавилова РАН, Москва, ответственный редактор;

Майорова В. И. – доктор технических наук, профессор МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва.

Рецензенты:

Батурин Ю. М. – летчик-космонавт России, член-корреспондент РАН, доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела науковедения ИИЕТ имени С. И. Вавилова РАН, Москва;

Щеглов Г. А. – доктор технических наук, профессор кафедры СМ-2 МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва.

Утверждено к изданию Ученым советом ФГБУН «Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова РАН» (протокол № 8 от 21 октября 2025 г.).

ISBN 978-5-98866-084-2

(С) Авторы, 2025

(С) Московский космический клуб, 2025

(С) МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2025

(С) ИИЕТ имени С. И. Вавилова РАН, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ответственного редактора. С. В. Кричевский	4
Участники Круглого стола – основные докладчики, авторы сборника	9
Жуков С. А. Российский вклад в международную экспедицию на Марс: потенциал, перспективы, партнерство	11
Кричевский С. В. Вперёд, на Марс! Краткая история и новый взгляд на цель и сверхзадачу пилотируемой экспедиции	29
Зелёный Л. М. Марс – мечта о запасной планете для человечества	41
Лобыкин А. А., Стойко С. Ф. Межпланетный экспедиционный комплекс	52
Жуков С. А., Семёнкин А. В. Обзор мировых тенденций развития энергодвигательных систем космических аппаратов для исследования дальнего космоса	59
Крючков Б. И. Отбор и подготовка космонавтов. Формирование экипажей. Деятельность в полете	66
Орлов О. И. Подходы к созданию системы медико-биологического обеспечения межпланетных космических полетов и наземное моделирование марсианских миссий	83
Ушаков Б. И. Главные космические барьеры для человека в межпланетном полете	88
Миненко В. Е., Солодкая Е. В., Столярова Н. А. Методика проектирования пилотируемой марсианской экспедиции и методы повышения надежности	110
Майборода А. О. Возможные российские инновационные технологии для межпланетных международных экспедиций	132
Севастьянов Н. Н. Пилотируемая экспедиция на Марс. Предложения по этапам организации	152
Ионин А. Г. Марс наш. Общий. Нетехнологические барьеры освоения космоса	161
Приложения	168
1. Краткий отчет о заседании Круглого стола «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах»	169
2. Решение Круглого стола «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах». 2 апреля 2025 г., Москва	171
3. Иллюстрации. Заседание Круглого стола 2 апреля 2025 г., Москва, МГТУ имени Н. Э. Баумана	173

ПРЕДИСЛОВИЕ ОТВЕТСТВЕННОГО РЕДАКТОРА

В сборнике публикуются материалы Круглого стола «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах», который был инициирован Московским космическим клубом (МКК) в феврале 2025 г., организован и проведен совместно с Московским государственным техническим университетом (МГТУ) имени Н. Э. Баумана 2 апреля 2025 г. в открытом научном и общественном формате, в междисциплинарной постановке.

Идея Круглого стола предложена С. А. Жуковым – президентом МКК в конце января 2025 г. для выработки адекватного ответа России на «марсианский» вызов президента США Д. Трампа, заявившего 20 января 2025 г. в речи на инаугурации «о намерении отправить американских астронавтов ... которые установят звездно-полосатый флаг на планете Марс»¹.

Эту идею поддержали МКК и МГТУ имени Н. Э. Баумана, ряд коллег и организаций, которые приняли активное участие в подготовке и работе Круглого стола. Была сформирована орггруппа под руководством С. А. Жукова, она решала все вопросы.

Главная цель Круглого стола: оценить задел и потенциал России, дать новый импульс для движения на Марс. Изначально хотели привлечь к участию только активных сторонников пилотируемой экспедиции на Марс. Причем, не вязнуть в истории и прошлых проектах, а сосредоточиться на мощном новом прорыве в постановке и решении конкретных проблем организации и выполнения международной пилотируемой экспедиции в новой реальности, при открывающемся окне возможностей сотрудничества РФ и США, с использованием имеющихся знаний, опыта, задела и технологий, особенно энергетических (в т.ч. с применением новых и перспективных ядерных установок и т.д.) и обеспечения безопасности, жизни и деятельности космонавтов в длительных полетах вне Земли.

Затем состав участников и «спектр» взглядов на тему Круглого стола значительно расширили. В диапазон обсуждения включили предысторию и историю идей, проектов, технологий пилотируемых полетов на Марс и его освоения за 100 лет, с 20-х гг. XX века.

В процессе подготовки и проведения Круглого стола в сложном и динамическом балансе проявились дисциплинарные и междисциплинарные, отраслевые, межотраслевые и надотраслевые, корпоративные, национальные, международные и другие аспекты.

¹ Трамп объявил о подготовке миссии США на Марс // РБК. 2025. 20 января. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/politics/20/01/2025/678e8a229a79472d12baf898?ysclid=m8g3hjfqu5185596495> (дата обращения: 20.06.2025).

Да, сейчас пилотируемая экспедиция на Марс (почти) фантастика. Современная ситуация и тенденции в России и мире, нарастающий опасный глобальный кризис значительно ограничивают возможности работ и сотрудничества, «сдвигают» сроки реализации данного «марсианского» проекта к середине XXI века.

Но необходимо и важно помнить, что еще 100 лет назад наш выдающийся ученый и инженер Ф. А. Цандер (1887–1933), вдохновленный идеями и трудами К. Э. Циолковского (1857–1935) о космических полетах для расселения человечества вне Земли, провозгласил девиз *«Вперёд, на Марс!»*, упорно и самоотверженно работал над проектом межпланетного корабля (1923), сделал расчеты для пилотируемого полета на Марс (1924)². Академик С. П. Королев (1906-1966) был соратником Цандера в те годы, а в 50-60 гг. XX века в СССР, в ОКБ-1, которым руководил, инициировал и реализовывал проекты разработки, создания тяжелого межпланетного корабля и межпланетного экспедиционного комплекса³.

18 лет назад (!), в начале 2007 г. в России, в Москве в редакции «Независимой газеты» состоялся уникальный Круглый стол о пилотируемом полете на Марс: «Запасная планета для человечества. Сможет ли пилотируемая экспедиция к Марсу стать технологическим национальным проектом». Модератором был А. Г. Ваганов – ответственный редактор «НГ-Науки»⁴. Круглый стол отражал итоги завершенного цикла многолетних работ и публикаций в России, посвященных проекту пилотируемой экспедиции на Марс⁵. Однако затем, вследствие отсутствия политической воли, социального заказа, адекватного финансирования и общей ситуации в нашей стране возникла длительная оргпауза. Иногда ее прерывают выступления и обещания руководителей РФ и Роскосмоса. Но при этом в России энтузиасты непрерывно вели и ведут инициативные работы: в космической и других отраслях, в НИИ, вузах, частных космических компаниях, общественных организациях...

Следует заметить, что среди специалистов космической отрасли и в общественном мнении в России и мире очень широко распространены и критические взгляды на возможность и необходимость осуществления пилотируемой экспедиции, освоения Марса.

Например, их опубликовал в 2010 г. академик РАН Б. Е Черток (1912-2011), причем, в 60-е гг. ХХ века он был соратником и заместителем С. П. Королева в ОКБ-1: «Мое твердое убеждение – пилотируемые полеты на Марс в ХХI веке технически возможны, но не нужны.

² См.: Цандер Ф. А. Проблемы межпланетных полетов. М.: Наука, 1988. 232 с.

³ См.: Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М.: РАКЦ им. К. Э. Циолковского, 2006. С. 42-43.

⁴ См.: Запасная планета для человечества // НГ-Наука. 14.02.2007. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2007-02-14/11_planeta.html (дата обращения: 30.04.2025).

⁵ См.: Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М.: РАКЦ им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.

Амбициозная цель не оправдает огромные затраты и риск»⁶. Но в том же тексте он кратко излагает важный китайский проект резервации на Марсе, рассуждает о том, что для спасения человечества от «неизбежных катаклизмов или катастроф на Земле ... ничего более подходящего в пределах солнечной системы нет. Надо переждать на Марсе». Далее Б. Е. Черток высоко оценивает данный проект спасения человечества и задает вопрос: «когда начать заселение китайской резервации на Марс?» И отвечает: «Думаю, что не ранее конца ХХY века»⁷. То есть он считал, что это необходимо делать, но в ХХI веке мы еще не готовы экономически и технологически, особенно по аспекту безопасности.

Давние споры между сторонниками и противниками движения на Марс продолжаются. Это нашло отражение и в основных докладах, особенно в важном выступлении и тексте академика РАН Л. М. Зелёного, а также в активной дискуссии на нашем Круглом столе после основных докладов, которая длилась более 1 часа.

Вместе с тем в мире в ХХI веке существует значительный интерес к «марсианской» теме. Особую активность проявляет И. Маск, основатель и глава корпорации SpaceX, США, он является лидером в области идей, технологий, проектов колонизации Марса. В 2016–2017 гг. И. Маск опубликовал идеи о человечестве как многопланетном виде и многопланетной цивилизации, предложил создать на Марсе город с населением 1 млн чел. Корпорация SpaceX создает полностью многоразовую двухступенчатую систему Starship из сверхтяжёлой ракеты-носителя и марсианского корабля, которая предназначена для миссий на Марс. Концепция этой «Межпланетной транспортной системы» была представлена в 2016 г., с 2023 г. в высоком темпе идут летные испытания Starship.⁸

Поэтому мы не можем ждать ХХV века и оставаться только мечтателями и наблюдателями. Необходимо активно участвовать в процессе нового движения на Марс, в т.ч. для создания «космического» Ноева ковчега – резервного человечества вне Земли, экспансии в космос для его освоения, эффективно использовать наши знания, опыт, задел, созданный профессионалами космической отрасли, а также потенциал и энергию новых поколений землян, стремящихся в космос.⁹

⁶ Космонавтика ХХI века: Попытка прогноза развития до 2101 года / Под ред. Б. Е. Чертока. М.: РТСофт, 2010. С. 29-30.

⁷ Там же. С. 29.

⁸ См.: Musk E. Making Humans a Multi-Planetary Species // New Space. 2017. Vol. 5. № 2. <https://doi.org/10.1089/Space.2017.29009.emu>; SpaceX – Starship // SpaceX. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spacex.com/vehicles/starship> (дата обращения: 10.09.2025); SpaceX Starship // Википедия. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/SpaceX_Starship (дата обращения: 20.06.2025).

⁹ См.: Кричевский С. В. Освоение космоса человеком: Идеи, проекты, технологии экспансии. История и перспективы. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: ЛЕНАНД, 2022. 448 с.; Кричевский С. В. Новый взгляд на проблему экспансии человека во Вселенной. Возвращение домой, в Космос // НГ-Наука. 11.04.2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2023-04-11/12_8703_space.html (дата обращения: 20.06.2025).

Круглый стол прошел в Москве, в конференц-зале Учебно-лабораторного корпуса МГТУ имени Н. Э. Баумана с участием более 100 человек – представителей космического, научного, образовательного сообществ России: трех академиков РАН, ряда специалистов сферы космической деятельности – сотрудников госкорпорации Роскосмос, в т. ч. НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина, ПАО РКК «Энергия» имени С. П. Королева и др., Федерального медико-биологического агентства (ФМБА) РФ, научно-исследовательских институтов, в т.ч. ИКИ РАН, ИИЕТ имени С. И. Вавилова РАН и др., высших учебных заведений Минобрнауки России, в т.ч. профессоров, преподавателей, аспирантов и студентов МГТУ имени Н. Э. Баумана, Московского авиационного института, МГУ имени М. В. Ломоносова, а также членов МКК, Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, представителей институтов развития и частных космических компаний, журналистов и др.

В сборник включены: сведения об участниках Круглого стола – основных докладчиках – 15-ти авторах текстов сборника; 12 статей по материалам докладов (в последовательности выступлений), посвященных историческим, методологическим, научно-техническим, медико-биологическим, политическим, производственным, социальным, технологическим, экономическим, экологическим, эксплуатационным, образовательным и другим аспектам; 3 приложения: краткий отчет о Круглом столе; Решение Круглого стола; иллюстрации, в т.ч. 19 фотографий (их автор Ю. А. Шведчиков).

В текстах изложены и отражены мечты, идеи, знания, проекты, технологии, сложный противоречивый опыт исследований и практических работ, перспективы по данной теме. Особое внимание удалено рискам и барьерам, обеспечению безопасности полетов и деятельности человека, новым технологиям и проектам исследования и освоения Марса. Авторы использовали более 200 источников литературы, в т.ч. множество новых.

По сути на Круглом столе в данном сборнике сделана нетривиальная новая постановка и попытка решения фантастической, философской и практической междисциплинарной мета-проблемы в дискурсе «задачи трех тел», – схватом Земли, Луны и Марса, в парадигме экспансии человека и человечества в космос в реальном и обозримом будущем - в 2030-2040-2050 годы и далее. Сборник отражает предысторию и историю, сложную современную ситуацию, достижения, противоречия, ограничения, возможности, проблемы и перспективы организации, подготовки и реализации международной пилотируемой экспедиции на Марс с участием России в XX–XXI веках.

Благодарю участников Круглого стола, авторов сборника, рецензентов и всех, кто участвовал в этом важном общем Деле, – за большую работу, сотрудничество и поддержку.

Материалы Круглого стола будут полезны для науки, образования и практики, особенно для молодых исследователей, инженеров, космонавтов. Они могут стать

предметом и объектом новых исследований и разработок, найти применение в подготовке кадров, учебных программах высшей школы, для продолжения профессионалами и общественностью новых обсуждений в России и мире необходимости, целесообразности, возможностей, достижений, проблем и перспектив исследований и освоения Марса.

Общие итоги и конкретные предложения Круглого стола изложены в «Решении ...», оно является обращением к руководству РФ, космическому, научному и образовательным сообществам, и ко всему нашему обществу. «России пилотируемый «марсианский» проект необходим как сверхзадача для получения новых знаний, развития науки и техники, новых космических и других технологий, подготовки кадров, сохранения статуса ведущей космической державы, освоения внеземных ресурсов, международного сотрудничества с учетом наших национальных интересов»¹⁰.

Россия внесла и вносит важный вклад в постановку проблемы пилотируемых полетов на Марс, в поиск решений, разработку идей, технологий и проектов, подготовку научных и инженерных кадров.

Марс для человека и человечества, особенно для энтузиастов его освоения, становится все ближе и реальнее в мечтах, целях, технологиях, планах и программах.

Выход из современного глобального кризиса – в стратегиях и проектах, объединяющих все человечество на Земле и в Космосе. России и человечеству в XXI веке нужны позитивные мирные сверхглобальные, сверхдлительные международные проекты.

Проект Международной пилотируемой экспедиции на Марс именно такой, он актуален и необходим России и человечеству, и в идеале его старт должен состояться до завершения работы Международной космической станции.

Россия может и должна стать инициатором и активным участником этого международного проекта, соответствующих соглашений, программ, проектов.

Предстоит объединить потенциал и усилия России и мирового сообщества, создать новые «правила игры», дорожную карту и продолжить наше движение: «Вперёд, на Марс!».

C. В. Кричевский
доктор философских наук, кандидат технических наук,
профессор, главный научный сотрудник
Отдела истории техники и технических наук
ИИЕТ имени С. И. Вавилова РАН, г. Москва,
член Московского космического клуба,
космонавт-испытатель

4 октября 2025 г.
Звёздный городок – Москва

¹⁰ Из текста данного «Сборника ...». Цитир.: Приложение 2 «Решение Круглого стола...», п. 2. С. 171.

УЧАСТНИКИ КРУГЛОГО СТОЛА – ОСНОВНЫЕ ДОКЛАДЧИКИ, АВТОРЫ СБОРНИКА

Жуков Сергей Александрович, кандидат технических наук, президент Межрегиональной общественной организации (МОО) «Московский космический клуб» (МКК), директор АНО «Аналитический центр “Аэронет”», г. Москва, космонавт-испытатель, действительный член Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского.

Зелёный Лев Матвеевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик Российской академии наук, научный руководитель, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации «Институт космических исследований РАН» (ИКИ РАН), г. Москва.

Ионин Андрей Геннадьевич, кандидат технических наук, Группа компаний «Геоскан», г. Москва, член Московского космического клуба, член-корреспондент Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского.

Кричевский Сергей Владимирович, доктор философских наук, кандидат технических наук, профессор, главный научный сотрудник Отдела истории техники и технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова РАН» (ИИЕТ РАН), г. Москва, космонавт-испытатель, член Московского космического клуба, действительный член Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского.

Крючков Борис Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина» (НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина), Звёздный городок Московская область.

Лобыкин Андрей Александрович, руководитель Научно-технического центра, Публичное акционерное общество Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва, г. Королёв Московская область.

Майборода Александр Олегович, ведущий научный сотрудник, Международный центр эвереттистических исследований, г. Москва, ООО «Атон – Ростов», г. Ростов-на-Дону, член Московского космического клуба.

Миненко Виктор Елисеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана», г. Москва.

Орлов Олег Игоревич, доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, директор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН» (ИМБП РАН), г. Москва.

Севастьянов Николай Николаевич, кандидат технических наук, руководитель РКК «Энергия» имени С. П. Королёва (2005-2007, 2019-2020 гг.), г. Королёв, Московская область.

Семёнкин Александр Вениаминович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Э-8, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана», главный научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М. В. Келдыша» (Центр Келдыша), г. Москва.

Солодкая Елена Викторовна, старший преподаватель, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана», г. Москва

Стойко Сергей Федорович, главный специалист, Публичное акционерное общество Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва, г. Королёв Московская область.

Столярова Нина Анатольевна, аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана», г. Москва

Ушаков Игорь Борисович, доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства (ФМБА), г. Москва.

**Жуков Сергей Александрович,
кандидат технических наук,
Межрегиональная общественная организация
«Московский космический клуб» (МКК),
г. Москва
nti-aeronet@mail.ru**

**Zhukov Sergei Aleksandrovich,
Candidate of Technical Sciences,
Interregional Public Organization
Moscow Space Club (MSC),
Moscow
nti-aeronet@mail.ru**

РОССИЙСКИЙ ВКЛАД В МЕЖДУНАРОДНУЮ ЭКСПЕДИЦИЮ НА МАРС: ПОТЕНЦИАЛ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ПАРТНЕРСТВО

RUSSIAN CONTRIBUTION TO THE INTERNATIONAL EXPLORATION OF MARS: POTENTIAL, PROSPECTS, AND PARTNERSHIPS

Аннотация. Статья посвящена анализу исторических и современных аспектов подготовки пилотируемой экспедиции на Марс, стратегическому будущему марсианских миссий. В начале изложено краткое вступительное слово автора - инициатора, организатора и модератора Круглого стола. Затем систематизированы и представлены советские и российские разработки, международные инициативы, перспективные технологии и организационные вызовы. Сделан акцент на роли России и возможных сценариях международного сотрудничества.

Abstract. The article is devoted to the analysis of historical and modern aspects of the preparation of a manned expedition to Mars, the strategic future of Martian missions. At the beginning, there is a brief introductory speech by the author, the initiator, organizer and moderator of the Round Table. Then Soviet and Russian developments, international initiatives, promising technologies and organizational challenges are systematized and presented. The emphasis is placed on the role of Russia and possible scenarios of international cooperation.

Ключевые слова: Пилотируемая миссия, Марс, международное сотрудничество, Роскосмос, космическая стратегия, Россия, межпланетный полёт, партнёрство, перспектива.

Keywords: Crewed mission, Mars, international cooperation, Roscosmos, space strategy, Russia, interplanetary flight, partnership, prospect.

Введение

Идея круглого стола возникла в МКК как реакция на «марсианский» вызов США как инициативу Илона Маска, которую поддержал президент США Дональд Трамп.

В начале 2025 года Маск объявил о планах отправить робота «Оптимус» на космическом корабле Starship к Красной планете уже в конце 2026 года, а в 2029–2031 годах осуществить облётную пилотируемую экспедицию.

Мы задумались: каким же может быть ответ России?

Нам известна более чем вековая история «марсианской пилотируемой мечты» в нашей стране — начиная с идеей Константина Циолковского, с романа Алексея Толстого «Аэлита», с расчетов Фридриха Цандера, стремление которого полностью разделял молодой Сергей Королёв, с проектов межпланетного экспедиционного комплекса, начатых уже зреющим Главным конструктором Королёвым и дорабатываемых его преемниками.

Мы знаем о заделах, которые есть и пополняются в РКК «Энергия», «Центре Келдыша», НИКИЭТ, КБ «Арсенал», Институте космических исследований, Институте медико-биологических проблем, ФМБА, Центре подготовки космонавтов и других организациях.

Зная обо всём этом, мы задумали собрать специалистов и поговорить о том, чем может ответить Россия на космический вызов США:

- Может ли Россия провести свою самостоятельную национальную пилотируемую экспедицию на Марс?

- Или — собрать международную кооперацию при своей головной роли?

- Может ли она принять участие в американской экспедиции — и в каком качестве?

Мы знаем силу профессиональных дискуссий.

Московский космический клуб участвовал в обосновании создания российского космического агентства, в подготовке закона о космической деятельности, в обосновании космодрома «Восточный», а также в формировании основ частной космонавтики и беспилотной авиации.

И все эти инициативные проекты начинались именно с обсуждений специалистов.

Возможно, сегодня мы запускаем процесс, который кому-то покажется неактуальным или, напротив, слишком смелым. Но мы помним, как наши предшественники всерьёз готовились к полётам на Марс. И, возможно, только смерть академика Королёва помешала этим планам реализоваться.

Мы исходим из того, что марсианский проект интересен для отечественной космонавтики, которую, откровенно говоря, давно пора как следует встряхнуть и сделать

так, чтобы в неё приходила молодёжь. А это обязательно произойдёт, если отрасль начнёт двигаться вперёд.

Марсианский проект интересен и в общенациональном масштабе, потому что способен стать локомотивом развития целого ряда отраслей экономики.

Он чрезвычайно важен и в международном формате.

Приведу слова доктора технических наук Олега Горшкова (цитирую с разрешения автора из документа «Предложения по работе Управления ООН по вопросам космического пространства», 2021 год, он не был опубликован):

«В наше время остро необходим глобальный проект цивилизационного масштаба в качестве противодействия центробежным силам, разделяющим народы.

Космический проект, пожалуй, единственный претендент на такую роль, т.к. достижения в космонавтике уже дали нам примеры удивительного единения, когда люди с разным цветом кожи, разными религиями и разными доходами забывают о своих различиях и ощущают себя единым целым в результате великих достижений человечества. Это первый полет человека в космос. Это высадка первого человека на Луне.

Проекты с высокими целями крайне необходимы для улучшения морального здоровья человечества. Должно же что-то объединять людей в эпоху потребления помимо всемирной торговой организации и олимпийского движения.

Уверен, что Международная пилотируемая миссия на Марс может стать именно таким проектом. Те лидеры стран, что примут такое решение и добьются его реализации, впишут свои имена золотыми буквами не только в историю космонавтики, но и в летопись цивилизации».

Мы собрались на площадке МГТУ имени Баумана, чтобы обсудить одно из самых амбициозных направлений современной науки и техники — освоение Марса. Мир вступает в новую фазу космической гонки, возможно, самую масштабную со времён высадки человека на Луну. Ещё недавно разговоры о пилотируемой экспедиции на Марс казались мечтой энтузиастов, но сегодня эта мечта стремительно становится стратегической целью ведущих мировых держав. Инициативы частных компаний, таких как SpaceX, и национальные программы США и Китая ясно показывают: наступает эпоха распределения влияния и возможностей в межпланетном пространстве.

Россия, имеющая выдающиеся научные и инженерные традиции, не может оставаться в стороне от этого процесса. Наша страна обладает прочным заделом в области пилотируемой космонавтики — от систем жизнеобеспечения и радиационной защиты до технологий длительных орбитальных миссий. Опыт, накопленный Центром подготовки космонавтов и ведущими институтами РАН, позволяет уверенно говорить: Россия

располагает уникальными знаниями о физиологии и психологии человека в условиях длительных космических перелётов, что делает нас одним из мировых лидеров в обеспечении безопасности и здоровья экипажей при межпланетных экспедициях.

Немаловажна и научно-техническая база, созданная в смежных направлениях. Наши специалисты добились значительных успехов в разработке ядерных источников энергии нового поколения, без которых невозможно обеспечить полеты в глубокий космос и долговременную автономную работу аппаратов и пилотируемых комплексов на поверхности Марса. Российская школа энергомашиностроения и фундаментальные исследования в области теплофизики и радиационной стойкости материалов позволяют рассматривать применение компактных ядерных энергетических установок как одно из приоритетных решений будущего.

Отдельно стоит отметить передовые позиции России в области электроракетных двигательных технологий. Отечественные плазменные и ионные двигатели уже успешно работают в составе космических аппаратов, демонстрируя высокую эффективность и надёжность при длительных миссиях. Эти технологии способны стать фундаментом транспортных систем, обеспечивающих доставку грузов и экипажей в околомарсианское пространство.

Наш Круглый стол — часть системной работы по осмыслению потенциала российской науки и промышленности в новом этапе освоения Марса. В повестку включены ключевые тематические блоки: проект межпланетного экспедиционного комплекса РКК «Энергия», современные энергодвигательные системы для межпланетных перелётов, перспективы в области биомедицинского и психологического обеспечения экипажей, а также роль университетской науки и молодых исследователей в формировании будущей марсианской программы.

В обсуждении принимают участие представители Российской академии наук, Роскосмоса и ведущих российских вузов. Все основные направления отечественных разработок представлены здесь — от пилотируемых технологий до двигательных систем и биомедицинских исследований. Единственное исключение — ядерная энергетика для космоса: к сожалению, специалисты Госкорпорации «Росатом» не смогли присоединиться к сегодняшнему заседанию. Выражаю надежду, что в дальнейшем они примут участие в наших обсуждениях, ведь вклад Росатома в развитие космических энергетических систем имеет ключевое значение для будущих экспедиций на Марс.

Коллеги, я приглашаю вас к открытому и содержательному разговору. Пусть сегодняшняя встреча станет шагом к выработке согласованного видения — какие технологические приоритеты и исследовательские направления позволят России не просто

следовать за другими, а вновь заявить о себе как о державе, определяющей вектор освоения космоса. Марс — это не только цель, но и символ нашего научного будущего, испытание зрелости и амбиций российской цивилизации.

Настоящая статья подготовлена автором, который вел заседание Круглого стола, текст в т.ч. отражает его вступительное слово и заключительное слово, с учетом состоявшегося обсуждения и ставит целью систематизировать взгляды на историю, современность и стратегическое будущее пилотируемых марсианских миссий с акцентом на возможную роль России в рамках международных кооперационных форматов.

Участники Круглого стола обсудили широкий круг вопросов, имеющих отношение к международной пилотируемой экспедиции на Марс:

- История;
- Современные научные знания о Марсе;
- Межпланетный экспедиционный комплекс;
- Энергодвигательные системы;
- Подготовка космонавтов;
- Медико-биологическое обеспечение;
- Международное сотрудничество;
- Подготовка кадров.

Принято Решение Круглого стола.

1. История исследований Марса и теоретических разработок

СССР стал первой страной, начавшей систематические исследования Марса, начиная с 1960-х годов. Программа включала автоматические межпланетные станции, орбитальные миссии, попытки посадки и разработку концепций пилотируемых полётов. Эти наработки заложили фундамент для будущих программ [1].

Фридрих Цандер, пионер отечественной космонавтики, ещё в 1920–1930-х годах разрабатывал теоретические основы полётов к Марсу [2]. Его идеи (в т.ч. концепция реактивного торможения в атмосфере и использования ядерной энергетики) повлияли на дальнейшие проекты.

Сергей Королёв в 1950–1960-х годах инициировал проект тяжёлого межпланетного корабля (ТМК) для пилотируемой миссии на Марс. Он предусматривал ядерную установку, модульную архитектуру и длительное пребывание в пути [3]. Несмотря на неосуществлённость, проект сыграл важную роль в развитии научной мысли.

Автоматические станции «Марс-2» и «Марс-3» в 1971 году стали первыми аппаратами, достигшими поверхности Марса. «Марс-3» совершил первую в истории

мягкую посадку, хотя и потерял связь через 14 секунд [4]. Тем не менее, это был значительный прорыв в освоении планеты.

Советская марсианская программа столкнулась с рядом технических и организационных проблем — аварии, потеря связи, отсутствие надёжных ракетных носителей. Тем не менее, она внесла уникальные данные о поверхности, атмосфере и климате Марса, а также стимулировала развитие инженерной школы [5].

Проекты 1970-х годов так и не привели к пилотируемому полёту. Основными препятствиями стали технологическая сложность, высокая стоимость, а также политические и кадровые изменения в космической отрасли. Однако накопленный опыт сохраняет свою ценность и по сей день [6].

Историческое наследие отечественной марсианской программы следует переосмыслить как ресурс. Рекомендуется использовать архивные документы, технические решения Цандера, Королёва и других инженеров как базу для обновлённого подхода к межпланетным миссиям [7].

Также перспективным направлением остаётся интеграция исторических наработок с современными международными проектами, развитие ядерных двигателей, модулей жизнеобеспечения и подготовки к длительным автономным экспедициям.

2. Современный контекст марсианских исследований

За последние два десятилетия резко возрос интерес к исследованию Марса со стороны национальных и частных космических организаций. Вновь обсуждаются сценарии пилотируемых миссий, строятся орбитальные и посадочные аппараты, ведётся активное моделирование будущих экспедиций. При этом подходы к марсианским программам варьируются — от демонстрационных до стратегических [8]. См. таблицу.

Ключевыми игроками остаются NASA, ESA, CNSA (Китай), частные компании (SpaceX, США), а также растёт участие стран Азии и Ближнего Востока. Ниже в Таблице приведено сравнение некоторых марсианских проектов и инициатив [9].

Особое место занимает программа Starship Илона Маска. SpaceX планирует использовать многоразовую транспортную систему для доставки экипажа и грузов [10]. При этом сроки регулярно сдвигаются, и техническая реализация сталкивается с проблемами [11].

Таблица. Примеры текущих проектов и инициатив по пилотируемым полётам на Марс

Стратегия/ Программа	Временные рамки	Основные технологии/миссии	Бюджет/ Финансирование
NASA "Moon to Mars"	2024-2044	Серии малобюджетных миссий, обновление инфраструктуры	\$100-300 млн на миссию, \$40 млн на технологии 2025
SpaceX Starship + Optimus	2026 (миссия Optimus), 2029-2031 (пилотируемые)	Многоразовая ракета Starship, гуманоидные роботы	Частное финансирование
Китай Tianwen 3	2028-2034 (возврат), 2040-е (пилотируемые)	Миссия на Long March 5, роботизированный сбор проб	Государственное финансирование
EKA + Роскосмос ExoMars	Текущие обновления, ближайшие миссии	Совместные миссии, технические разработки	Международное финансирование
ОАЭ Hope	2020-е - 2030-е	Орбитальные аппараты, научные приборы	Государственное финансирование

Параллельно NASA разрабатывает собственную архитектуру с опорой на лунную программу Artemis, предполагая этапную реализацию — от окололунной станции до марсианского взлётно-посадочного комплекса [12].

Китай активно развивает национальные технологии, делая акцент на замкнутых системах жизнеобеспечения, энергообеспечении и автономности [13]. Хотя сроки миссии не объявлены, эксперты прогнозируют полёт не ранее 2040-х годов.

Для России важно отслеживать развитие международных проектов и искать точки входа для научного и технологического сотрудничества. Несмотря на ограничения, сохраняется возможность точечного участия — в экспериментах, разработке отдельных модулей, исследованиях по медико-биологическому сопровождению [14].

Современный контекст диктует необходимость не только технологической готовности, но и стратегической позиции: чтобы участвовать в экспедиции, необходимо заранее определить возможный формат кооперации, приоритетные сферы и научные цели.

3. Потенциал России в реализации Марсианской миссии

Несмотря на текущее геополитическое положение и ограниченность ресурсов, Россия сохраняет ряд конкурентных преимуществ в контексте подготовки пилотируемых полётов на Марс [15].

Во-первых, это инженерная школа, основанная на опыте создания тяжёлых космических комплексов, включая орбитальные станции, возвращаемые аппараты и автономные системы. Разработки времён ТМК, «Буран» и МКС можно адаптировать для межпланетной архитектуры.

Во-вторых, научный потенциал. Россия обладает мощной научной базой в области планетологии, радиационной защиты, медико-биологических исследований и замкнутых систем жизнеобеспечения. Этот опыт востребован в условиях длительных полётов и автономного существования экипажа [16].

В-третьих, наличие институциональной и кадровой инфраструктуры. Центры подготовки космонавтов, профильные НИИ и КБ, университеты, а также образовательные и просветительские структуры формируют экосистему для будущих миссий [17].

Кроме того, участие в международных проектах, таких как МКС и «Экзомарс», даёт России опыт кооперации, стандартизации и политico-дипломатического сопровождения сложных космических программ [18].

Потенциал России не следует рассматривать только как ресурс, ожидающий востребования. Он требует актуализации, адаптации и переосмысливания в новых условиях. Это включает формирование консорциумов, институциональные альянсы, а также проактивную научную дипломатию.

Также необходимо продвигать российское участие через площадки, аналогичные Bauman Mars Forum, стимулируя академическое и инженерное сообщество к выработке предложений по миссии.

Таким образом, Россия обладает реальными компетенциями, которые, при надлежащей поддержке, могут быть включены в международную марсианскую программу на ключевых этапах — от медико-биологических экспериментов до модульного строительства.

4. Основные технологические и организационные вызовы

Подготовка пилотируемой миссии на Марс предполагает преодоление целого ряда сложнейших задач — технологических, логистических и организационных. Основные вызовы группируются по следующим направлениям

1. Транспортная система. Необходима тяжёлая ракета-носитель с возможностью многократного запуска и сборки миссии на орбите. Отдельной задачей является создание межпланетного корабля с модулями для полёта, посадки и возвращения [19].

2. Энергетика и жизнеобеспечение. Марсианская миссия требует устойчивых энергоисточников (включая ядерные), замкнутых систем регенерации воды, кислорода, а также продовольственной автономии [20].

3. Биомедицинские риски. Воздействие радиации, изоляции и невесомости в течение длительного времени требуют проведения полномасштабных экспериментов и разработки медико-психологической поддержки.

4. Командно-информационные системы. От автономной навигации и связи до принятия решений в условиях задержки сигнала. Здесь критически важна интеграция ИИ-решений.

5. Организация и управление. Необходимо создание институционального механизма координации, особенно при участии нескольких стран. Важную роль играет правовой режим, распределение ответственности и финансирования [21].

Кроме технологических и институциональных задач, особое внимание следует уделить вопросам этики, устойчивости и культурного восприятия миссии. Экспедиция на Марс — это не только инженерный проект, но и акт цивилизационного масштаба.

Российские организации могут внести вклад в ряд направлений — от энергоустановок и модулей жизнеобеспечения до подготовки экипажей и психологической поддержки. Для этого требуется системный план и приоритетное финансирование ключевых НИОКР.

5. Международное сотрудничество и возможные форматы участия России

Пилотируемая экспедиция на Марс по определению является проектом глобального масштаба, требующим кооперации стран с передовыми космическими, инженерными и научными компетенциями. Примеры международного сотрудничества в рамках МКС, программ «Экзомарс», Artemis и Gateway показывают, что объединение усилий может значительно ускорить реализацию сложных задач [22].

На данном этапе перспективными для России выглядят следующие форматы взаимодействия:

1. Участие в научных экспериментах. Россия может внести вклад в исследования по биомедицине, радиационной защите, психологической адаптации экипажа, а также по астрофизике и планетологии.

2. Разработка отдельных модулей и систем. В условиях ограниченного бюджета возможно точечное участие в создании энергетических, служебных или жилых модулей, систем посадки или навигации [23].

3. Подготовка экипажей. Российский опыт долговременных космических полётов, включая психологическую и медицинскую подготовку, может быть востребован в составе международных экипажей.

4. Участие в координирующих структурах. Это важно для политического признания вклада России, а также для выстраивания диалога по распределению ответственности и формированию приоритетов в рамках миссий [24].

5. Независимые проекты с возможностью последующей интеграции. В условиях санкционного давления возможна разработка автономных модулей, платформ и технологий, которые могут быть встроены в будущую международную архитектуру.

Сохранение контактов с научным сообществом, совместные публикации, участие в международных конференциях, а также развитие «космической дипломатии» становятся важными инструментами для обеспечения долгосрочного присутствия России в обсуждении миссии на Марс.

Таким образом, даже в условиях ограниченного доступа к западным программам Россия может реализовать стратегию «интеллектуального участия» в Марсианской программе — за счёт знаний, инженерных решений и научных инициатив.

6. Стратегическое значение Марсианской программы

Пилотируемая экспедиция на Марс — не только научно-технический проект, но и стратегический акт, влияющий на международное положение, престиж и будущее позиционирование стран-участников в мировом сообществе [25].

Для России участие в Марсианской программе может выполнять несколько долгосрочных функций:

1. Поддержание и развитие научно-инженерной школы. Программа потребует мобилизации ресурсов, привлечения молодёжи, развития кооперации между наукой, промышленностью и образованием.

2. Стимулирование технологических прорывов. Как и программа «Аполлон» в XX веке, проект может дать импульс для развития смежных отраслей — энергетики, робототехники, биомедицины, ИИ [26].

3. Укрепление международного престижа. Участие в масштабном проекте открывает возможности для научной дипломатии, демонстрации «мягкой силы» и конструктивного вклада в глобальное развитие [27].

4. Смысловая консолидация. Программа может выполнять роль «большого нарратива» — цели, способной объединить общество, стимулировать образование, поддержать идею будущего.

Марсианская пилотируемая миссия — это проект, выходящий за пределы инженерного мышления. Она требует этического, философского и культурного осмысления. В этом контексте российская школа космического гуманитарного мышления — от Циолковского до современных авторов — может предложить уникальный вклад в формирование глобальной повестки освоения дальнего космоса.

Таким образом, стратегическое значение программы заключается не только в достижении планеты, но и в её воздействии на земные процессы — науку, технологии, общество и международные отношения.

7. Марс в культурном и гуманитарном измерении

Изучение Марса как объекта научного интереса на протяжении последних столетий неразрывно связано с его присутствием в культурном и философском сознании человечества. Образ «красной планеты» выступает не только как предмет астрономического анализа, но и как символ, отражающий смену парадигм в восприятии будущего, прогресса, этики и границ человеческого присутствия во Вселенной.

Истоки культурной рецепции Марса прослеживаются в мифологических системах древних цивилизаций. В шумеро-аввилонской и древнегреческой традициях Марс ассоциировался с богами войны (Нергал, Арес), разрушением и агрессией. В китайской культуре его называли «огненной звездой», символизирующей перемены, кризисы и бурю. У народов Северной Америки встречаются упоминания о Марсе как о духовно значимом объекте.

С XIX века образ Марса прочно входит в художественную литературу. Классическая фантастика (Э. Р. Берроуз — цикл о Барсуме, А. Н. Толстой — «Аэлита») создаёт архетип «цивилизованного Марса» — планеты с развитыми, но часто деградирующими культурами. В середине XX века Рэй Брэдбери в «Марсианских хрониках» предлагает философское и социальное осмысление темы колонизации. В XXI веке Энди Вейр в романе «Марсианин» делает акцент на научную достоверность и реализм в условиях экстремального выживания.

Кинематографические образы Марса также эволюционировали от гротеска и вторжения («Война миров», «Марс атакует!») к научно точным реконструкциям («Марсианин», 2015). Эти произведения не только отражают научный и технологический уровень эпохи, но и транслируют этические дилеммы, связанные с вмешательством человека в инопланетные экосистемы.

Философские подходы к теме включают экспансионизм, трансгуманизм и экоцентризм. Первые два обосновывают необходимость выхода человечества за пределы Земли как этапа эволюции, в то время как третий призывает к уважению автономии

космических объектов и ограничению вмешательства. Этические дискуссии охватывают вопросы прав собственности на космические тела, допустимости изменения экосистем, а также долгосрочного влияния на цивилизацию.

Изобразительное искусство XX–XXI веков отражает марсианскую тематику через сюжеты одиночества, неизведанности и научного поиска. Художники создают визуальные нарративы, стимулирующие философские размышления и интерес широкой аудитории.

Современные тенденции включают усиление культурного интереса к Марсу как символу надежды, риска и технологической зрелости. Возрастающее количество научно-популярных материалов, образовательных проектов и геймифицированных продуктов способствует формированию нового культурного кода, в котором Марс выступает как обобщённый образ будущего человечества.

8. Общественные инициативы и негосударственные организации в марсианских программах

В последние десятилетия наблюдается рост значимости негосударственных и общественных структур в формировании марсианской повестки. Эти организации дополняют деятельность государственных космических агентств, продвигая исследования и создавая каналы взаимодействия с обществом.

Исторически первые общественные инициативы в космической сфере возникли в СССР в 1920–1930-х годах в форме астрономических кружков, научно-популярных обществ и издательской активности. Они сыграли роль в подготовке общественного мнения к запуску космонавтической программы.

В современной России сложилась многоуровневая сеть организаций, активно вовлечённых в популяризацию и поддержку космической тематики. Среди них:

- Московский космический клуб — проводит просветительские мероприятия, лекции, дискуссии и тематические круглые столы;
- Федерация космонавтики России — объединяет ветеранов отрасли и молодёжные инициативы, поддерживает научно-технические конференции и международное сотрудничество;
- Российская академия космонавтики имени К. Э. Циолковского — важнейшая платформа научно-гуманитарной экспертизы и диалога о будущем освоения космоса;
- Музей космонавтики на ВДНХ и Государственный музей истории космонавтики имени К.Э. Циолковского — крупнейшие музеи отрасли, являющиеся не только выставочными площадками, но и центрами общественного просвещения;

- Ассоциация музеев космонавтики России — координирует работу региональных учреждений, формирует единое образовательное пространство.

Международный опыт показывает высокую результативность неправительственных инициатив в сфере подготовки к марсианским миссиям. Ведущими игроками являются:

- Planetary Society (США) — продвижение планетных исследований, проекты LightSail, активная популяризация науки;
- Mars Society (США) — разработка аналоговых станций, образовательные программы, научные публикации;
- European Space Society — создание общественных платформ для дискуссии по вопросам освоения космоса.

Значительное внимание уделяется организации аналоговых миссий на Земле, позволяющих моделировать марсианские условия, а также научно-популярным фестивалям, молодёжным конкурсам, краудфандинговым проектам и сетевым образовательным платформам.

Финансирование деятельности осуществляется за счёт членских и благотворительных взносов, краудфандинга, спонсорской помощи и грантов. В ряде случаев практикуется государственно-частное партнёрство, особенно в музейной и образовательной сферах.

Общественные организации активно сотрудничают с государственными агентствами — Роскосмосом, NASA, ESA, привлекая экспертов и развивая диалог с широкой общественностью. Их участие в формировании образа будущего, включая освоение Марса, придаёт дополнительную легитимность и устойчивость космической повестке.

Ключевыми факторами эффективности этих структур являются:

- постоянная научно-просветительская активность;
- способность привлекать молодёжь и новых участников;
- гибкость в применении новых технологий;
- формирование открытого междисциплинарного пространства для обсуждения марсианской тематики.

9. Образовательные и просветительские аспекты марсианских исследований

Образовательное измерение марсианской программы — это не только подготовка кадров для будущих экспедиций, но и важнейший инструмент формирования устойчивого интереса к космосу в обществе. Современная образовательная экосистема в сфере космоса охватывает академические, профессиональные, музейные и цифровые компоненты, обеспечивая мультиуровневое вовлечение.

Образовательная экосистема России

- В России сформировалась широкая сеть профильных учебных заведений: МГТУ имени Н.Э. Баумана, МФТИ, МАИ, МГУ имени М.В. Ломоносова, КАИ, СибНИА, БГТУ «ВОЕНМЕХ», РТУ МИРЭА и другие, которые реализуют программы подготовки инженеров, исследователей и менеджеров космической отрасли.

- Активное участие в образовательной повестке принимают и *ведущие музеи* (Мемориальный музей космонавтики, музеи вузов и предприятий космической отрасли, Звёздный городок), организующие экскурсии, лекции, детские программы.

- Важное место занимают *молодёжные образовательные проекты* — олимпиады, смены в «Артеке» и «Сириусе», инженерные школы при вузах.

Международный опыт и интеграция

- За рубежом ключевыми площадками подготовки специалистов являются программы MIT (США), ISAE-SUPAERO (Франция), Университет Цюриха (Швейцария) и другие.

- Международные платформы Coursera, edX и FutureLearn предлагают курсы по планетарной геологии, астробиологии, системной инженерии и симуляции марсианских условий.

- Программы включают практические модули: лабораторные эксперименты, симуляторы, полевые выезды на аналоговые полигоны.

Новые формы просвещения

- В России и за рубежом растёт использование VR/AR-технологий, интерактивных выставок, квестов и симуляторов марсианских баз.

- Развиваются научно-популярные проекты: фильмы («Марс: Дело будущего»), подкасты, блоги, YouTube-каналы.

- Отдельного внимания заслуживает геймификация образовательного процесса — создание симуляторов, онлайн-игр и платформ для проектной деятельности.

Компетенции и вызовы

Переход к практической фазе освоения Марса требует не только высоких технических навыков, но и формирования нового типа специалистов — междисциплинарных, социально ответственных и способных к работе в экстремальных условиях.

Ключевые компетенции включают:

- владение цифровыми и инженерными технологиями;
- опыт работы в команде, стрессоустойчивость, готовность к длительной изоляции;
- знание планетарной науки, биоинженерии, системного проектирования;

- навыки коммуникации и общественной дипломатии.

Проблемы и перспективы

- Недостаточное финансирование образовательных проектов по теме Марса остаётся актуальной проблемой.

- Ограничность международного обмена в политически сложной обстановке снижает возможности стажировок.

- Необходима разработка специализированных программ магистратуры и аспирантуры, ориентированных на долгосрочные марсианские миссии.

- Требуется активизация просветительской деятельности с привлечением медиа, музеев, космонавтов и научных лидеров.

10. Рекомендации и дорожная карта

С учётом текущих ограничений и будущих возможностей, целесообразно сформулировать ключевые рекомендации по включению России в международную марсианскую программу.

1. Формирование национальной концепции участия в Марсианской программе. Необходимо определить стратегические цели, формат участия, приоритетные направления и ресурсы. Концепция должна учитывать как независимые усилия, так и кооперационные сценарии [28].

2. Запуск специализированных НИОКР. Особое внимание следует уделить энергетическим установкам, модулям жизнеобеспечения, средствам радиационной защиты и подготовке экипажей к длительным автономным миссиям.

3. Институционализация участия. Создание координирующего органа или консорциума, объединяющего ключевые НИИ, КБ, университеты и частных партнёров, с чётким распределением ролей и ответственности.

4. Поддержка гуманитарной составляющей. Рекомендуется развивать космическую философию, футурологические исследования, образование и научную популяризацию. Это повысит общественную поддержку и создаст контекст для смыслового наполнения миссии [29].

5. Развитие научной дипломатии. В условиях глобальных изменений требуется активное участие в международных форумах, инициативы по публикациям, создание двусторонних и многосторонних проектов.

6. Создание долгосрочной дорожной карты. Документ должен учитывать этапы подготовки — от актуализации технологий до потенциального полёта в 2040-х годах, с

ориентацией на международные синхронизационные точки (в т.ч. NASA, CNSA, SpaceX и др.).

7. Укрепление общественных инициатив. Необходимо поддерживать деятельность негосударственных организаций (Московского космического клуба, Федерации космонавтики России, Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского и др.), способных аккумулировать интерес общества к марсианской тематике.

8. Развитие гуманитарных исследований и культурных программ. Целесообразно интегрировать в повестку освоения Марса культурные, историко-философские и этические аспекты, включая анализ образа Марса в литературе, искусстве и массовом сознании.

9. Расширение просветительских и образовательных инициатив. Важно укрепить сеть музеев, лекционных программ, фестивалей и цифровых платформ, продвигающих марсианскую тематику для широкой аудитории, особенно молодёжи.

В условиях ограниченного финансирования и внешнеполитических барьеров важно не упустить окно возможностей. Программа должна стать не разовой кампанией, а частью долгосрочной стратегии освоения дальнего космоса с участием России.

Заключение

Пилотируемая экспедиция на Марс — это вызов, превосходящий рамки инженерной задачи. Это комплексное мероприятие, включающее технологии, науку, дипломатию, философию и стратегию. В условиях стремительно меняющейся мировой обстановки участие России в международной марсианской миссии требует не только готовности, но и проактивной позиции.

Россия располагает уникальным наследием, научным и технологическим потенциалом, а также опытом кооперации. Однако без консолидации усилий, целеполагания и институциональных механизмов этот потенциал рискует остаться невостребованным.

Настоящая статья предлагает рассматривать миссию на Марс как проект комплексной модернизации космической отрасли, как инструмент научной дипломатии и как основу для формирования позитивного образа будущего. Это цель, способная объединить научное, инженерное и общественное сообщество в рамках общего вектора — выхода человечества на орбиту другой планеты.

Список литературы

1. Цандер Ф. А. Полёт на Марс. М.: Гос. изд-во, 1932. 68 с.
2. Уткин А. А. От Циолковского до Сагдеева. М.: РАН, 1995. 248 с.

3. Глушко В. П. Развитие ракетной техники и космонавтики в СССР. М.: Машиностроение, 1987. 416 с.
4. Левин Ю. М. Марс-3: первая посадка // Новости космонавтики. 1991. № 4. С. 12–17.
5. Гринько А. П. Советская программа «Марс». М.: ACT, 2000. 310 с.
6. Siddiqi A. A. Deep Space Chronicle: A Chronology of Deep Space and Planetary Probes 1958–2000. Washington: NASA, 2002. 204 p.
7. Космос и технологии. 2023. № 5. С. 5–38.
8. Zak A. Russia's Space Ambitions // RussianSpaceWeb [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.russianspaceweb.com/mars.html> (дата обращения: 25.09.2025).
9. ESA Mars Exploration Portal [Электронный ресурс]. 2024. URL: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Mars (дата обращения: 25.09.2025).
10. SpaceX. Mars Architecture Overview [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.spacex.com/mars> (дата обращения: 25.09.2025).
11. The Verge. SpaceX's Delays and Technical Risks [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.theverge.com> (дата обращения: 25.09.2025).
12. NASA. Artemis III to Mars Roadmap [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://www.nasa.gov/artemis/mars> (дата обращения: 25.09.2025).
13. China National Space Administration. Future Mars Missions – Press Briefing [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.cnsa.gov.cn> (дата обращения: 25.09.2025).
14. Mars Society Russia. Сценарии участия [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://www.marsociety.ru> (дата обращения: 25.09.2025).
15. Жуков С. А. Советский опыт и заделы // Доклад на конференции Московского космического клуба. М., 2023. 12 с.
16. Институт медико-биологических проблем РАН. Отчёт по программе «Космос и здоровье» за 2022 год. М.: ИМБП РАН, 2022. 58 с.
17. Центр подготовки космонавтов. Годовой обзор деятельности. М., 2023. 42 с.
18. Экзомарс: российский вклад // Роскосмос [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.roscosmos.ru/31450> (дата обращения: 25.09.2025).
19. International Academy of Astronautics (IAA). Energy for Mars Missions: Report. Paris, 2021. 38 p.
20. Closed Life Support Systems in Space // Journal of Aerospace Medicine. – 2023. Vol. 97, No. 4. P. 211–225.

21. UNOOSA. Legal Aspects of Human Mars Missions [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.unoosa.org> (дата обращения: 25.09.2025).
22. МКС как модель международного взаимодействия // Вопросы космонавтики. – 2023. № 2. С. 45–59.
23. Koelle D. Modular Mars Concepts. ESA Report, 2022. 25 p.
24. Глушко И. А. Кооперация в освоении дальнего космоса // Аэрокосмические исследования. 2024. № 1. С. 14–22.
25. National Space Council. Strategic Implications of Mars Exploration. Washington, 2023. 60 p.
26. Центр форсайтных исследований. Технологический эффект марсианской миссии. М., 2022. 36 с.
27. Космос и дипломатия: сб. статей / Под ред. В. И. Дмитриева. М.: Наука, 2023. 190 с.
28. Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского. Концепция участия России в международной марсианской миссии. М., 2024. 22 с.
29. Космическое образование и гуманитарные аспекты. М.: РОСКОСМОС, 2023. 54 с.
30. TheAlphaCentauri. Перспективы пилотируемого освоения Марса. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/c/TheAlphaCentauri> (дата обращения: 25.09.2025).

Кричевский Сергей Владимирович
Доктор философских наук, Кандидат технических наук,
Профессор, Главный научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова РАН»
(ИИЕТ РАН)
Москва
postmaster@ihst.ru

Krichevsky Sergey Vladimirovich
Doctor of Philosophy, Candidate of Technical Sciences,
Professor, Chief Researcher,
Federal State Budgetary Institution of Science
“S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the RAS” (IHST RAS)
Moscow
postmaster@ihst.ru

ВПЕРЁД, НА МАРС! КРАТКАЯ ИСТОРИЯ И НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ЦЕЛЬ И СВЕРХЗАДАЧУ ПИЛОТИРУЕМОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

GO TO MARS! A BRIEF HISTORY AND A NEW PERSPECTIVE ON THE GOAL AND THE ULTIMATE MISSION OF THE MANNED EXPEDITION

Аннотация. Сделана общая постановка, кратко представлены: история идей, концепций, технологий, проектов полетов людей на Марс в России и мире в XX–XXI вв.; новый взгляд на цель, сверхзадачу, проблемы и решения для междисциплинарного проекта международной пилотируемой экспедиции на Марс в 2030–2050 гг. в парадигме экспансии в космос. Сформулированы предложения для инициирования нового проекта под эгидой ООН при активном участии России в сотрудничестве с ведущими космическими государствами: США, КНР и др.

Annotation. A general statement is made, and the following are briefly presented: the history of ideas, concepts, technologies, and projects for human flights to Mars in Russia and the world in the 20th and 21st centuries; a new perspective on the goal, overarching objective, challenges, and solutions for an interdisciplinary project of an international manned expedition to Mars in the 2030s and 2050s in the paradigm of space expansion. Proposals are formulated for

initiating a new project under the auspices of the United Nations, with Russia actively participating in cooperation with leading space-faring nations such as the United States, China, and others.

Ключевые слова: исследование, история, международная пилотируемая экспедиция на Марс, ООН, опыт, проект, Россия, сотрудничество, технология, человечество.

Keywords: research, history, international manned expedition to Mars, United Nations, experience, project, Russia, cooperation, technology, humanity.

Введение

Сделаем общую постановку: представим краткую историю идей, технологий, проектов полетов людей на Марс в России и мире в XX–XXI вв., и новый взгляд на цель, сверхзадачу, проблемы и решения для создания и реализации нового сверхглобального проекта международной пилотируемой экспедиции на Марс в 2030–2050 гг., в парадигме экспансии человечества в космос, с охватом науки, образования и практики.

Именно такой стратегический, «долгоиграющий» международный проект «марсианской» экспедиции необходим, актуален и возможен для начала нового этапа международного сотрудничества в космосе и объединения человечества в целях преодоления опасного глобального кризиса на Земле в современной сложной обстановке, при переходе к новому миропорядку.

России пилотируемый «марсианский» проект необходим и важен как сверхзадача и мощный импульс для всего общества, реализации потенциала и развития сферы космической деятельности, сохранения статуса и возобновления лидерства в пилотируемой космонавтике, освоении космоса.

Необходимо и предстоит использовать знания, опыт и научно-технический задел, существующие в нашей стране и мире, чтобы организовать этот чрезвычайно важный и сложный междисциплинарный проект под эгидой ООН, по инициативе и с активным участием России, с учетом ее национальных интересов, в сотрудничестве с ведущими космическими государствами и корпорациями США, КНР и др. стран, во взаимодействии с научными и образовательными сообществами.

Возможны различные варианты, сценарии и траектории для выполнения пилотируемых экспедиций на Марс, с созданием новых технологий, промежуточных баз и испытаниями техники в околоземном космическом пространстве и на Луне, включая использование внеземных природных ресурсов.

В основе статьи материалы исследований автора в ИИЕТ РАН, его публикации (2017–2025) и другая литература.

1. Краткая история

100 лет назад наш выдающийся ученый и инженер Ф. А. Цандер (1887–1933), вдохновленный идеями и трудами К. Э. Циолковского (1857–1935) о космических полетах для расселения человечества вне Земли, провозгласил девиз «Вперед, на Марс!», упорно и самоотверженно работал над проектом межпланетного корабля (1923), сделал расчеты для полета на Марс (1924): «для 2–3 человек ... корабль массой 400 тонн при использовании ракетных двигателей на компонентах жидкого водород и жидкого кислород» [1; 2, с. 42].

Рис. 1, 2.

«Марсианский» девиз, идеи, труды Цандера были восприняты и затем продолжены его соратником С. П. Королевым (1907–1966) – в 50–60-х гг. ХХ в.

В мире в ХХ–XXI вв. разработаны десятки специальных проектов ракет, кораблей, баз для пилотируемых полетов на Марс, его исследования и освоения человеком. Выделим одни из первых проектов:

в США (1952, «Марсианский проект» (Das Marsprojekt), В. фон Браун);
в СССР (1959, Тяжелый межпланетный корабль (ТМК) для облета Марса; 1960 – Межпланетный экспедиционный комплекс (МЭК) с посадкой человека на Марс, – под руководством С.П. Королева, в ОКБ-1, ныне РКК «Энергия им. С. П. Королева») [2, с. 43, 45; 3, 4].

Но ни один из всех «марсианских» проектов ХХ–XXI вв. пока не реализован в пилотируемом полете на Марс.

Важно выделить энтузиастов полета на Марс в России и мире в конце ХХ – начале ХХI вв.

Космонавт-испытатель Отряда космонавтов ЦПК им. Ю. А. Гагарина М. Н. Бурдаев (1932–2019) еще в 70-80-е гг. ХХ в. заявлял о готовности лететь на Марс в один конец [5].

Летчик-космонавт В. В. Поляков (1942–2022) первым в мире летал 437 суток вокруг Земли (1994–1995), в самом длительном полете человека в космос в 1994–1995 гг. на орбитальном комплексе «Мир», – для подготовки «марсианской» миссии, мечтал о полете на Марс и хотел его выполнить [6].

Инженер-конструктор космической техники В. Е. Бугров (род. 1933) участвовал в проектировании ТМК в ОКБ-1 (с 1961 г.), ветеран РКК «Энергия», кандидат в космонавты (1966–1968), новое интервью с ним опубликовано в «Российской газете» в начале 2025 г. [3]. Также см. его важную книгу о марсианском проекте Королева [4].

В США в 1998 г. Р. Зубриным и др. основано и активно действует Марсиансское общество (свыше 5000 членов, 6000 участников более чем в 50-ти странах). Это крупнейшая

и влиятельная в мире организация, занимающаяся исследованием и заселением человеком планеты Марс [7, 8].



Рис. 1. Фридрих Артурович Цандер (1887-1933), ученый, инженер. Цитир. по: [1].

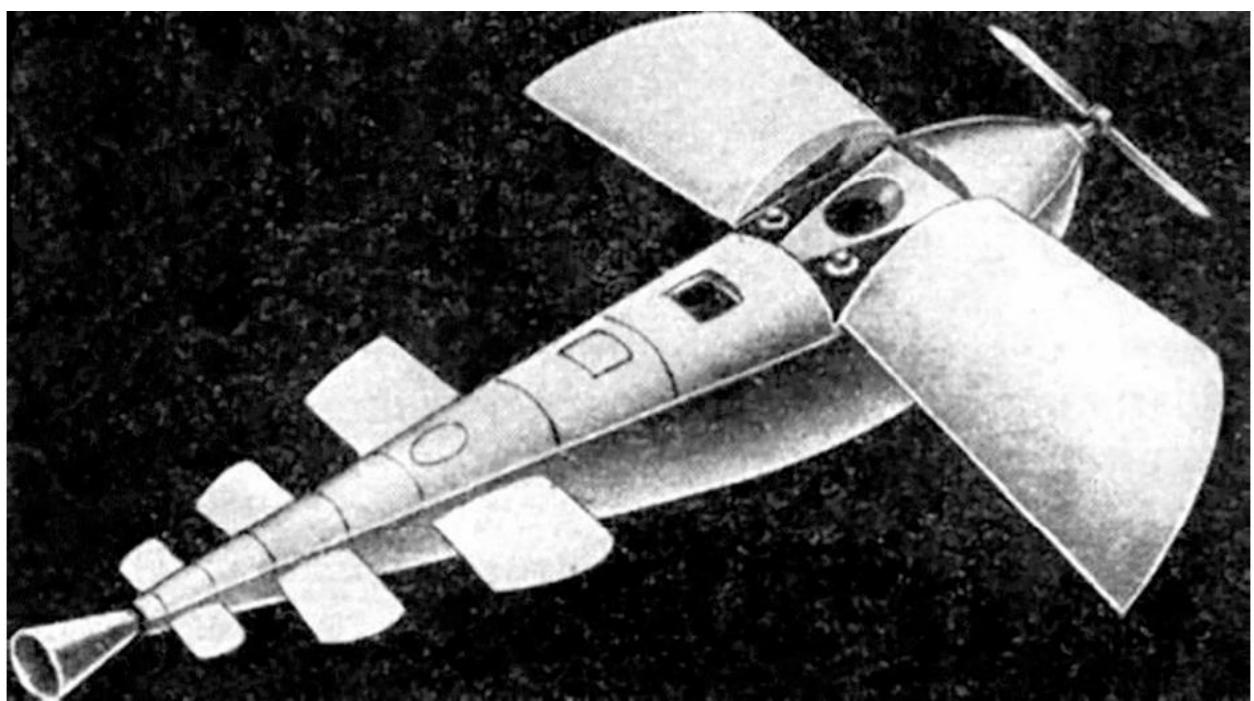


Рис. 2. Модель межпланетного корабля Ф.А. Цандера (1923). Из «Описания ...» патентной заявки [1, с. 179].

Краткая хронология событий в России и мире в конце XX и в XXI вв.

В СССР в 1990 г. разработана «Программа реализации пилотируемых экспедиций на Марс в 2010 – 2020 гг.» (сформирована программа НИР и ОКР) [2, с. 44].

В США с 1991 г. рассматривался полет человека на Марс в 2012–2014 гг., в 1997 г. разрабатывалась схема эталонной экспедиции на Марс на основе ЯРД [2, с. 44].

В 2001 г. Европейское космическое агентство приняло программу «Аврора», конечная цель – пилотируемая экспедиция на Марс [2, с. 44].

В 2004 г. президент США Дж. Буш объявил программу «Перспективы освоения космоса» с целью высадить человека на Марс в 2030–2040 гг. [2, с. 44].

В России разработан новый проект МЭК для полета на Марс, вышла важная коллективная монография «Пилотируемая экспедиция на Марс» (2006) [2]. Цитируем ее аннотацию: «Книга содержит первое систематизированное изложение истории концепций и проектов пилотируемой экспедиции на Марс. Излагается современный Российский проект пилотируемой экспедиции на Марс – МЭК. Обсуждаются основные проблемы, включая медицинские, предлагаются пути решения, опираясь на опыт советской, российской и международной космонавтики. Показано влияние технологий, разрабатываемых для экспедиции на Марс, включая ядерные, на программу создания Лунной базы и эффективной космической транспортной системы. Авторы около пятидесяти лет занимаются проблемами полета человека на Марс и делятся своим опытом разработок» (рис. 3) [2, с. 2].

В России в начале 2007 г. в редакции «Независимой газеты» состоялся важный Круглый стол о пилотируемом полете на Марс: «Запасная планета для человечества. Сможет ли пилотируемая экспедиция к Марсу стать технологическим национальным проектом». Его модератором был А. Г. Ваганов – ответственный редактор, «НГ-Наука» [9].

В России в 2007–2011 гг. первый эксперимент «Марс-500» в ИМБП РАН по имитации на Земле пилотируемого полёта на Марс, с международным участием. Экипаж из 6-ти человек «летал» 520 суток (2010–2011) [10].

В 2009 г. в КНР опубликована идея проекта создания колонии людей на Марсе с «обратным» заселением Земли после глобальной катастрофы на ней [11, с. 324, 325, 327; 12; 13, с. 29].

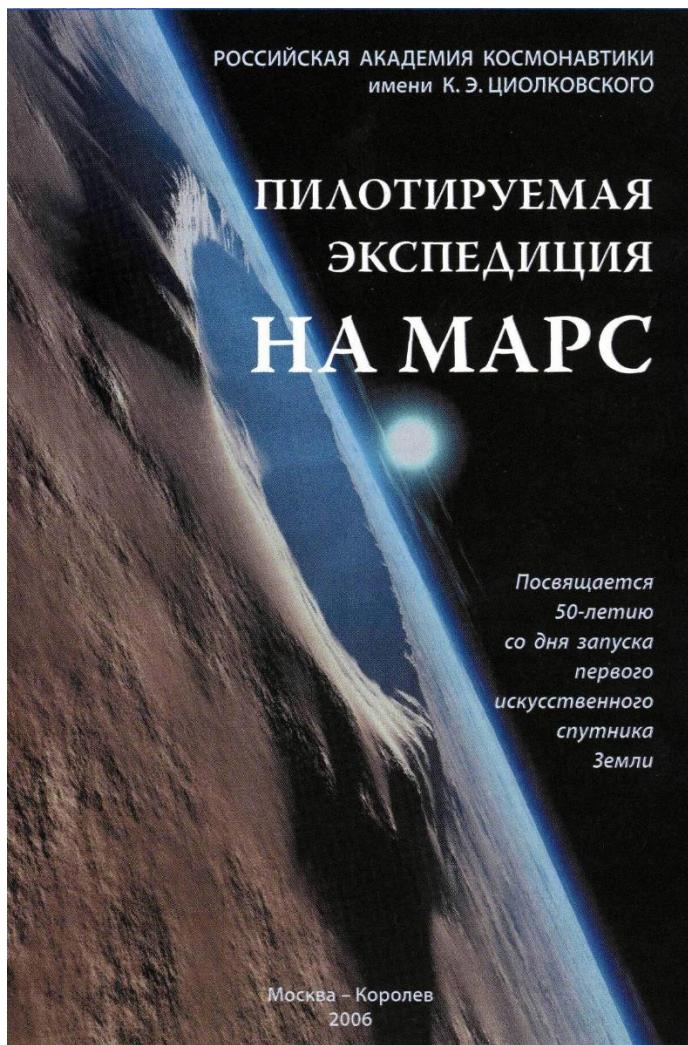


Рис. 3. Обложка книги: «Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М., 2006» [2].

В 2016–2017 гг. И. Маск, основатель и глава корпорации SpaceX (США) опубликовал идеи о человечестве как многопланетном виде и многопланетной цивилизации, предложил создать на Марсе город с населением 1 млн чел. [11, с. 327; 12, 14]. Корпорация SpaceX создает полностью многоразовую двухступенчатую систему Starship из сверхтяжёлой ракеты-носителя и марсианского корабля, которая предназначена для миссий на Марс. Концепция этой «Межпланетной транспортной системы» представлена в 2016 г., с 2023 г. идут летные испытания Starship [15]. В 2020 г. И. Маск анонсировал отправку человека на Марс в 2026-м, а к 2050-му 1 млн чел. [16].

20 января 2025 г. президент США Д. Трамп в речи на инаугурации заявил «о намерении отправить американских астронавтов ... которые установят звездно-полосатый флаг на планете Марс» [16].

20 февраля 2025 г. И. Маск призвал к прекращению эксплуатации международной космической станции, предложил готовить полет на Марс [17].

17 марта 2025 г. И. Маск заявил, что человек впервые ступит на Марс через 5–7 лет. Космический корабль с человекоподобным роботом Optimus полетит на Марс в конце 2026 года [18].

2. Новый взгляд на цель, сверхзадачу, проблемы и решения

Пришло время для начала подготовки и реализации пилотируемых полетов на Марс на основе «критической массы» людей, идей, знаний, опыта, технологий, ресурсов, их объединения. Открывается «окно возможностей» для ведущих космических государств и всего человечества.

Пилотируемая экспедиция, полеты людей на Марс с участием России стратегически и экзистенциально необходимы для устойчивого освоения космоса человеком, начала экспансии за пределы Земли, в дальний космос, на Марс для его освоения, колонизации как резервной планеты, для выживания, безопасности и развития человечества (в перспективе) [9–12, 19–23].

Предстоит решить ряд организационных и «технологических» проблем: политических, правовых, экономических, научно-технических, медико-биологических, социо-гуманитарных и др.

Самые сложные проблемы связаны с миром, безопасностью, сотрудничеством на Земле, с надежностью техники, с безопасностью полетов и деятельности, качеством жизни людей в космосе.

Для их решения необходим синтез ресурсов и активности сфер науки, образования и практики.

Необходимо преодолеть сложнейший «радиационный барьер» и другие барьеры, связанные с ними риски и последствия для здоровья и жизни людей при полете на Марс и его освоении. И пока нет уверенности, что это получится вообще, а тем более в ближайшие 5–7 лет [9–12, 24].

России пилотируемый «марсианский» проект необходим как сверхзадача для получения новых знаний, развития науки и техники, новых космических и др. технологий, сохранения статуса ведущей космической державы, развития космической и др. технологических отраслей, освоения внеземных ресурсов, международного сотрудничества с учетом наших национальных интересов.

Для объединения знаний, опыта, потенциалов, ресурсов, технологий, обеспечения безопасности и высокой эффективности, данный проект должен быть международным и межотраслевым, на базе научных знаний, исследований в междисциплинарной постановке,

с учетом истории, возможностей, ограничений, тенденций, перспектив, в балансе с реалиями и решением проблем на Земле.

Необходимо инициировать, разработать и принять международные соглашения (договоры): «Международная пилотируемая экспедиция на Марс» (участники: США, Россия, КНР и др.); «Освоение Марса» – в ООН; программы, проекты и «дорожные карты».

Россия может и должна выступить инициатором этих соглашений, они будут способствовать нормализации отношений с США и др. странами, преодолению современного мирового кризиса, развитию сотрудничества на Земле и в космосе при переходе к новому мировому порядку.

Реальные участники проекта пилотируемой экспедиции на Марс в нашей стране: госкорпорации «Роскосмос» и «Росатом», Минобрнауки, РАН, ФМБА. У них есть необходимые компетенции, опыт, технологии и заделы. Одна из самых главных ролей – у ЦПК им. Ю. А. Гагарина и отряда космонавтов Роскосмоса.

Проект междисциплинарный, включает множество аспектов: политический, правовой, научно-технический, медико-биологический, производственный, эксплуатационный, социальный, социокультурный, экономический, экологический, образовательный и др.

В современной чрезвычайно сложной и турбулентной реальности в стране и мире предстоит получить поддержку пилотируемого «марсианского» проекта от российских властей и общества, особенно от космического, научного и образовательного сообществ.

Это будет не просто, в т.ч. из-за нарастающей в России конкуренции между пилотируемым и «автоматическим» направлениями в космонавтике: энтузиасты автоматов и «беспилотья» все более вытесняют и ограничивают дорогие и рискованные пилотируемые полеты в дальний космос, стремятся ограничить роль человека вне Земли, отдают приоритет автоматам в космосе, отодвигают в далекое будущее полеты наших космонавтов даже на Луну, а тем более на Марс, тормозят процесс освоения космоса человеком.

Вместо расселения в космосе для спасения от земных и космических катастроф (по Циолковскому), создания космического «Ноева ковчега», освоения Луны и Марса, в России вновь в приоритете «бег на месте общеукрепляющий»: с перспективой летать и жить еще лет 50 на будущей новой и «вечно живой» российской орбитальной станции (РОС) по околоземной полярной орбите. И вместо активного пилотируемого освоения Россией Луны и Марса космонавты будут летать только на РОС и выполнять новую важную миссию в БРИКС: поднимать африканскую «космическую целину» на Земле и околоземной орбите? Но это еще более ограничит и затормозит развитие России как космической державы,

«привязанной» к Земле. (При всем большом уважении к мечтам коллег из стран Африки о пилотируемых полетах) [20, 21].

В России в XXI в. до принятия решений для реализации пилотируемого «марсианского» проекта в космосе дело пока не дошло. Адекватное финансирование и реализация такого проекта будут возможны в РФ только после преодоления нынешнего кризиса и прекращения активного военного противостояния. Но необходимо не ждать, а активно работать.

Предлагается в России в 2025 г. и далее:

разработать и принять в РФ правовые акты, необходимые для подготовки и выполнения пилотируемых полетов на Марс;

включить проект пилотируемой экспедиции на Марс в разрабатываемый национальный проект по развитию космической деятельности России до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.;

в высшей школе ввести дисциплины «Исследование и освоение Марса» и др., новые направления и т.д. – для подготовки специалистов и научных кадров.

Можно и необходимо сотрудничать со США и И. Маском в «марсианском» проекте, такие попытки РФ уже делаются. Но они за нас не решат наши проблемы. И вряд ли они допустят Россию к равноправному участию, тем более ее лидерство.

Предстоит найти решение этой сложной коллизии сотрудничества РФ с США. При этом следует заявить и отстаивать наши приоритеты в идеях и технологиях, и достойное место в проекте.

Но прежде всего нам предстоит выйти из затянувшейся «околоземной космической спячки» в пилотируемых полетах и преодолеть «ментальный» и «психологический» барьеры, захотеть и суметь полететь на Марс: принять решения, создать все необходимые и достаточные технологии и технику, отбирать и готовить новых российских космонавтов.

Необходимы: сверхзадача, длинная воля, поддержка руководителей России и общества, большая команда профессионалов для напряженной и ответственной работы в течение 10–15–25 лет, чтобы успешная пилотируемая экспедиция на Марс состоялась в 2030–2040–2050 гг.

И нам необходим «новый Королёв» – свой главный «визионер», энтузиаст, организатор, мечтатель, специалист, лидер, который возглавит движение России вперёд, на Марс [19–23].

Заключение

Сделана общая постановка и кратко представлена история идей, концепций, технологий, проектов полетов людей на Марс в России и мире в XX–XXI вв.

Предложены:

- 1) новый взгляд на историю, проблемы и перспективы освоения Марса человечеством в парадигме экспансии в космос;
- 2) систематизация, анализ и переосмысление истории идей, концепций, проектов, технологий, всего опыта исследований и организации пилотируемой экспедиции на Марс в нашей стране и мире в XX–XXI вв.;
- 3) выход на новый уровень постановки сверхзадачи марсианской экспедиции как международного, междисциплинарного, межотраслевого проекта, обеспечения безопасности и высокой эффективности;
- 4) конкретные меры для организации и реализации нового сверхглобального международного проекта под эгидой ООН в 2030–2050 гг., по инициативе и с активным участием России, с учетом ее национальных интересов, в сотрудничестве с ведущими космическими государствами и корпорациями, научными и образовательными организациями, сообществами США, КНР и др. стран.

Список литературы

1. Цандер Ф. А. Проблемы межпланетных полетов. М.: Наука, 1988. 232 с.
2. Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М.: РАКЦ им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.
3. Ячменникова Н. С билетом в оба конца. Есть ли у России шанс полететь на Марс. Ветеран космонавтики Бугров рассказал о планах на Марс и Луну в СССР и России // Российская газета. 5.02.2025. [Электронный ресурс]. URL: https://rg.ru/2025/01/28/veteran-kosmonavtiki-bugrov-rasskazal-o-planah-na-mars-i-lunu-v-sssr-i-rossii.html?ysclid=m8u3ffa2d129708397&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 20.06.2025).
4. Бугров В. Е. Марсианский проект С. П. Королева. М.: Русские витязи, 2007. 148 с
5. Бурдаев, Михаил Николаевич // Википедия. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурдаев,_Михаил_Николаевич (дата обращения: 20.06.2025).
6. Мировая пилотируемая космонавтика / Под ред. Ю. М. Батурина. М.: РТСофт, 2005. 752 с.

7. Марсианское общество // Википедия. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсианское_общество (дата обращения: 30.04.2025).
8. About the Mars Society // The Mars Society. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marssociety.org/about/> (дата обращения: 30.04.2025).
9. Запасная планета для человечества // НГ-Наука. 14.02.2007. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2007-02-14/11_planeta.html (дата обращения: 30.04.2025).
10. Проект «Марс-500» Имитация пилотируемого полета на Красную планету. [Электронный ресурс]. URL: http://mars500.imbp.ru/index_r.html (дата обращения: 20.06.2025).
11. Кричевский С. В. Освоение космоса человеком: Идеи, проекты, технологии экспансии. История и перспективы. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: ЛЕНАНД, 2022. 448 с.
12. Кричевский С. В. Новый взгляд на проблему экспансии человека во Вселенной. Возвращение домой, в Космос // НГ-Наука. 11.04.2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2023-04-11/12_8703_space.html (дата обращения: 20.06.2025).
12. Черток Б. Е. Космическая эра. Прогноз до 2101 года // Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года / Под ред. Б. Е. Чертока. М.: РТСофт, 2010. С. 15-32.
13. Musk E. Making Humans a Multi-Planetary Species // New Space. 2017. Vol. 5. № 2. <https://doi.org/10.1089/space.2017.29009.emu>
14. SpaceX Starship // Википедия. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/SpaceX_Starship (дата обращения: 20.06.2025).
15. Трамп объявил о подготовке миссии США на Марс // РБК. 2025. 20 января. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/politics/20/01/2025/678e8a229a79472d12baf898?ysclid=m8g3hjfqy5185596495> (дата обращения: 20.06.2025).
16. И. Маск призвал к прекращению эксплуатации международной космической станции // Газета.ru. 2025. 20 февраля. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazeta.ru/science/news/2025/02/20/25140164.shtml?ysclid=m8ga2c74ty459287993> (дата обращения: 20.06.2025).
17. Илон Маск рассказал, когда человек впервые ступит на Марс // РИА Новости. 2025. 17 марта. [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20250317/mask--2005579057.html> (дата обращения: 20.06.2025).

18. Кричевский С. В. Аэрокосмическая деятельность: Методология, история, перспективы. Междисциплинарный анализ и прогноз. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: ЛЕНАНД, 2024. 504 с.

19. Кричевский С. В. На пыльных тропинках Красной планеты не наши следы. Отряд космонавтов празднует юбилей, но готов летать только вокруг Земли // Независимая газета. Приложение «НГ-Наука». 2025. 8 апреля. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/nauka/2025-04-08/10_9230_astronauts.html (дата обращения: 9.04.2025).

20. Кричевский С. В. Вперёд, на Марс! Новые проекты и возможности // Взгляд с орбиты. № 4. апрель 2025. С. 4–5.

21. Прошел круглый стол «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 гг.» // ИИЕТ РАН. 4.04.2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://ihst.ru/2025/04/04/> (дата обращения: 9.04.2025).\\

22. Краткий отчет о заседании Круглого стола «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах» // Московский космический клуб. 12.04.2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://mosspaceclub.ru/news.php> (дата обращения: 20.06.2025).

23. Кричевский С. В. Краткая история технологий защиты людей от радиации в космосе в России и мире в XX – начале XXI века // Вопросы истории естествознания и техники. 2025. Т. 46. № 1. С. 146 – 165. DOI: 10.31857/S0205960625010084

Зелёный Лев Матвеевич
Доктор физико-математических наук, Профессор,
Академик Российской академии наук,
Научный руководитель,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Государственный научный центр Российской Федерации –
«Институт космических исследований РАН» (ИКИ РАН),
г. Москва
info@iki.rssi.ru

Zelenyi Lev Matveevich
Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Academician of the RAS,
Scientific Director,
Federal State Budgetary Institution of Science
The State Scientific Center of the Russian Federation
“Space Research Institute” (IKI RAS),
Moscow, Russia
info@iki.rssi.ru

МАРС — МЕЧТА О ЗАПАСНОЙ ПЛАНЕТЕ ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

MARS — A DREAM OF A BACKUP PLANET FOR HUMANITY

Аннотация. Статья посвящена естественно-научным, техническим и гуманитарным аспектам исследования и освоения Марса в дискурсе мечты о нем как о запасной планете для человечества. Рассматриваются эволюция представлений о Марсе — от первых наблюдений и гипотез до современных миссий, результаты поиска воды и жизни, а также ключевые барьеры пилотируемых экспедиций. Отмечается вклад СССР и России в изучение планеты, и значение марсианской темы для гуманитарного осмыслиения будущего человечества. Сделан вывод о необходимости сочетания научного оптимизма с реалистическим подходом.

Abstract. This article explores the scientific, technical, and humanitarian aspects of Mars exploration and development, reflecting on the dream of it as a backup planet for humanity. It examines the evolution of ideas about Mars—from the first observations and hypotheses to modern missions, the results of the search for water and life, and the key barriers to manned expeditions.

The contribution of the USSR and Russia to Mars exploration is highlighted, as well as the importance of the Martian theme for the humanitarian understanding of humanity's future. A conclusion is drawn regarding the need to combine scientific optimism with a realistic approach.

Ключевые слова: Марс, жизнь на Марсе, запасная планета, исследования, история, колонизация, космос, пилотируемая экспедиция, радиационные риски, человечество.

Keywords: Mars, life on Mars, spare planet, exploration, history, colonization, space, manned expedition, radiation risks, humanity.

Введение

Идея полёта к Марсу остаётся одной из самых устойчивых в истории человеческой цивилизации. С момента открытия «каналов» Дж. Скиапарелли (1877 г.) [1, с. 6] Красная планета стала символом космической мечты. От фантастических романов Герберта Уэллса и Алексея Толстого до современных фильмов XXI века тема Марса продолжает будоражить воображение, соединяя утопии, мечты и инженерный реализм. Во второй половине XX века отечественная и мировая космонавтика сделала Марс целью конкретных программ и проектов. В XXI веке возникли новые возможности для исследований и освоения Марса, но приходит и понимание сложных препятствий, барьеров на пути к освоению Марса человечеством.

Марс: космическая мечта или гибель?

Можно сказать, что я выступаю в роли известного римского императора Юлиана Отступника. Как известно, Юlian Отступник отрекся от христианства в пользу язычества, за что и был назван Отступником. Еще 15 - 20 лет назад я вместе со многими своими коллегами полагал, что Марс — это не просто мечта, а запасная планета для человечества, например, см. материалы Круглого стола в «НГ-Науке» (2007) [2]. И вот прошло время, и мы узнали о Марсе и полетах к этой планете гораздо больше, и сейчас, спустя эти двадцать лет, я гораздо более скептичен. Теперь я выступаю в роли оппонента утверждению о том, что Марс может быть колонизирован и пригоден для жизни.

Весь интерес к Марсу, несмотря на то, что человечество о нем всегда знало достаточно много, начался с итальянского астронома Джованни Скиапарелли. Он не чужой человек и для российской науки — одно время он был сотрудником Пулковской обсерватории. В 1877 году, во время великого противостояния Марса, Скиапарелли обнаружил на его поверхности каналы. Это вызвало бурный интерес к Марсу, и в начале XX века карта марсианских каналов печаталась в каждой газете и каждой книге. Рис. 1. И этим

непроходящим интересом ознаменован весь XX век — написано большое количество замечательных книг, которые мы все читали, появились прекрасные, особенно советские, кинофильмы, посвященные полетам на Марс, революции на Марсе, все это уже, можно сказать, у нас в крови.

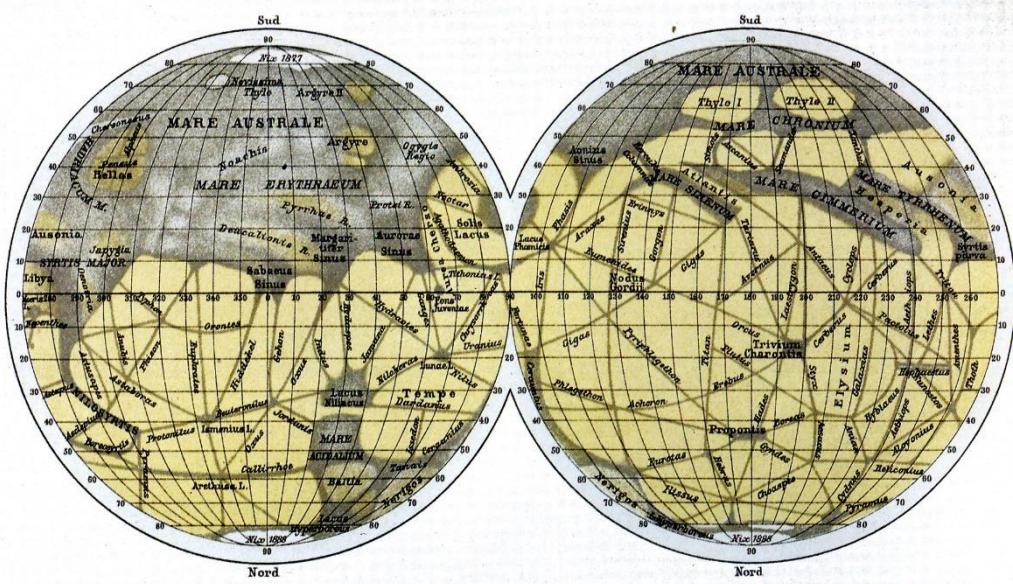


Рис. 1. Атлас марсианских каналов Джованни Скиапарелли (1877-1888). Цитир. до; [3].

Здесь есть две разных истории: одна история — это поиск жизни на Марсе, о которой я в основном и буду говорить, а вторая история — это освоение и колонизация Марса, и это разные вещи.

Учёных всегда интересовало, если ли жить на Марсе, поскольку с этой точки зрения это самая ближайшая, интересная и актуальная планета.

Сейчас много говорят на поиске жизни на Венере, о поисках жизни на спутниках Юпитера, но Марс всегда был и остается первым кандидатом на это. Как я уже говорил, есть много замечательных кинофильмов, молодое поколение уже видело фильм «Марсианин» (2015) [4], где осваивается Марс, и в этом фильме показана одна из главных опасностей, которые будут угрожать космонавтам на Марсе. Вся коллизия в этом фильме возникла из-за пылевой бури, (на Марсе это страшное явление, с которыми мы пока не понимаем, как бороться) которая разрушила инфраструктуру поселения. В суматохе экипаж спасался, главного героя сочли погибшим, и он остался один на Марсе, выращивал там картошку и сумел прожить, пока товарищи не придумали, как его спасти.

Для меня Марс это нечто личное, так получилось, что я даже сумел познакомиться с Реем Бредбери, и он прислал мне свою замечательную книжку «Марсианские хроники», из-за чего у меня было потом много проблем. Рис. 2.

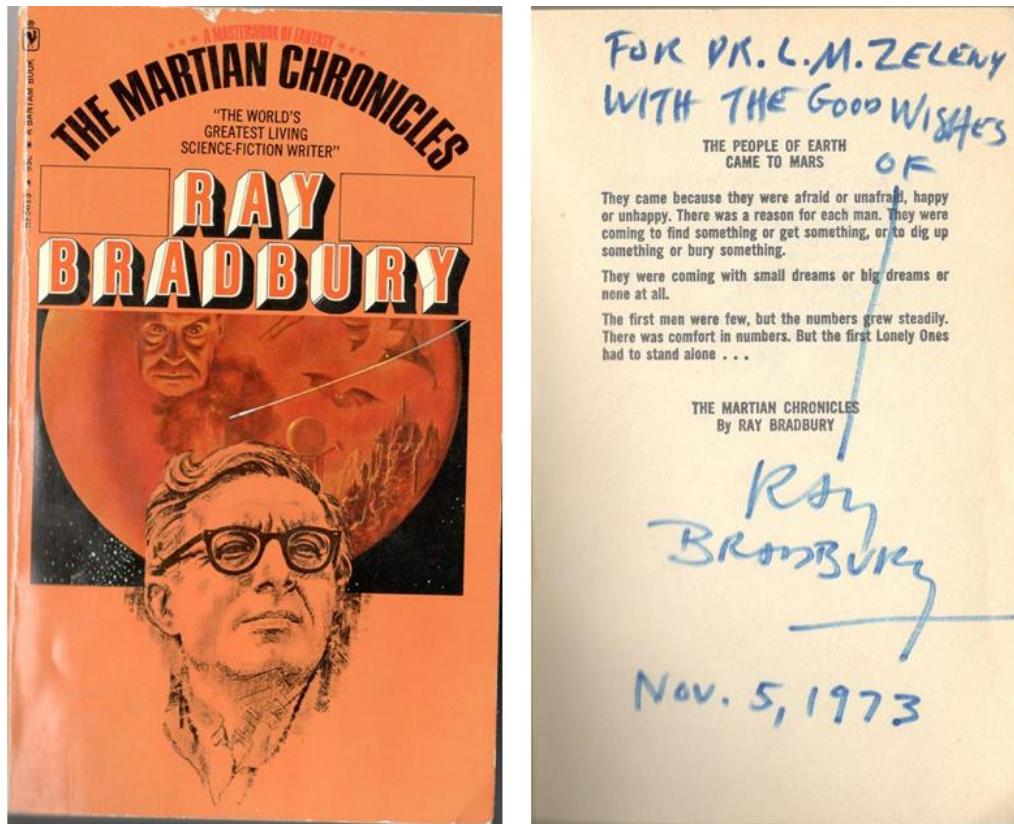


Рис. 2. Экземпляр книги Рея Бредбери «Марсианские хроники» на англ. яз. (1970) [5], с автографом автора (1973), из личной библиотеки академика Л. М. Зеленого.

И, наверно, все, кто интересовался жизнью на Марсе, помнят замечательного учёного из Казахстана Гавриила Андриановича Тихова, который много говорил о жизни на Марсе, в особенности о ботанике, он даже не сомневался в том, что на Марсе есть жизнь, он считал, что Марс меняет цвет в зависимости от сезона, что обусловлено цветением там разных трав и растений [6]. К сожалению, это оказалось ошибочной идеей, но она тоже внесла свой вклад в эту нашу генетическую предрасположенность к мечтам о Марсе.

И они, конечно, реализовались в лозунге, который висел над столом всех учёных ГИРДа. — и у Цандера, и у Циолковского, всегда поддерживал и практически жил этим лозунгом Сергей Павлович Королев: «Вперёд на Марс!» Это все описано в замечательной книге Владимира Бугрова «Марсианский проект Королева» [7].

Таким образом можно сказать, что Марс всегда был в центре нашего внимания.

Но что мы знаем о Марсе сегодня, и откуда берется скептицизм? К 2020-му году на Марс было совершено 48 экспедиций, из которых успешными были только 30% [8]. Рис. 3.

Марс — сложная планета. У него очень слабая атмосфера, что очень осложняет посадку, в отличие от Венеры, где можно просто развернуть парашют и садиться. 70% космических кораблей разбивались именно при посадке.

Далеко не все знают, что первым космическим аппаратом, совершившим мягкую посадку на Марс, был советский «Марс-3». К сожалению, аппарат прожил всего несколько десятков секунд, почти сразу после посадки его накрыла пылевая буря, которую было видно даже с Земли, и он перестал передавать сигнал.

Сейчас на поверхности Марса работают два марсохода, всего их было отправлено шесть — пять американских и один просто уникальный китайский. Мы вполне можем утверждать, что мы знаем Марс хорошо.

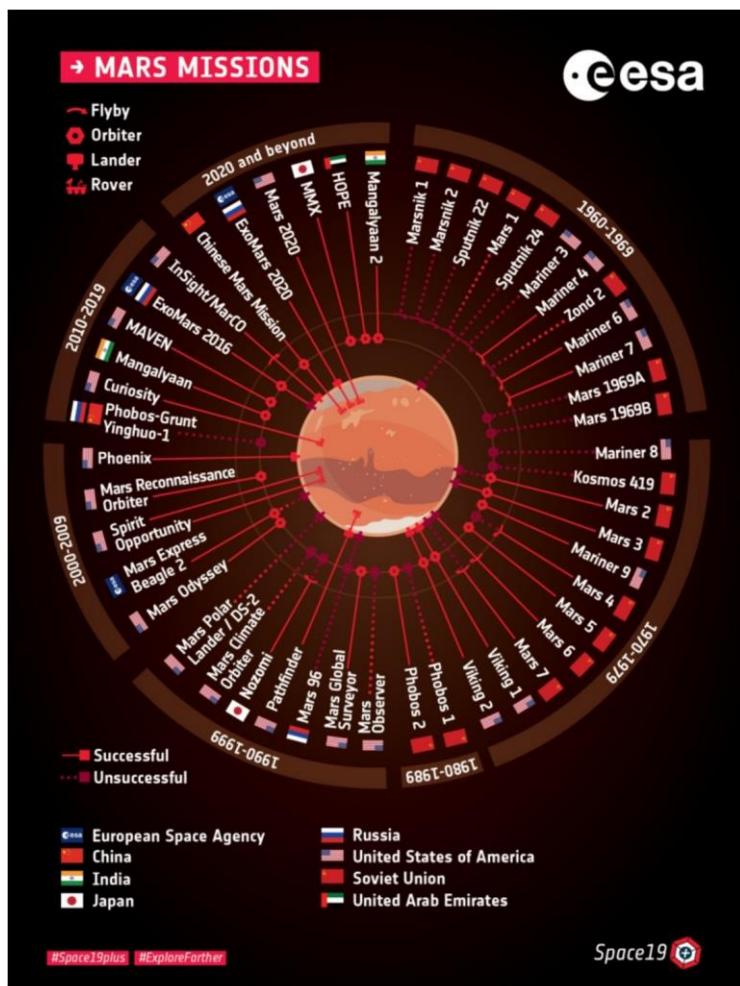


Рис. 3. Миссии на Марс. (C) ESA. Цитир. по: [8].

Правая часть круга на рис. 3 — это почти всё советские аппараты, по количеству точек видно, что Советский Союз активно исследовал Марс с орбиты, но с Марсом нам, откровенно говоря, везло гораздо меньше, чем с Венерой. Благодаря советским аппаратам, экспедициям еще 70-х гг. прошлого века, и особенно экспедициям начала 2000-х годов мы знаем о Марсе очень много.

Марс — планета маленькая, почти вдвое меньше Земли, гравитация там почти три раза меньше, чем на Земле, марсианские сутки делятся 24 часа и 39 минут и называются солом. Для Марса очень характерны пылевые дьяволы — пылевые бури, о которых мы уже говорили раньше.

Температура на Марсе умеренная, иногда она достигает даже небольших плюсовых значений, но в среднем это около -60°C , что нас совершенно не пугает. Но если мы посмотрим на характеристики давления на Марсе и параметры его атмосферы, то увидим сплошной углекислый газ, с которым мы боремся на Земле и который создает парниковый эффект. Из таблицы (в которой в т.ч. использована информация из книги [9]), мы видим, насколько сильно по сравнению с Землей разрежена атмосфера Марса.

Таблица. Оценка запасов летучих: что было 4,5 млрд лет назад (первая цифра) и (вторая цифра) что осталось во второй половине XX – начале XXI века (за основу взят океан Земли и запасы CO_2 и N_2 в атмосфере Венеры).

	CO_2 , бар	N_2 , бар	H_2O , км
Венера	90 / 90	2 / 2	$2.3 / 1.3 \times 10^{-5}$
Земля	$112 / 5 \times 10^{-4}$	$2.5 / 0.8$	$2.8 / 2.8$
Марс	$16 / 6 \times 10^{-3}$	$0.35 / 10^{-4}$	$1.4 / 0.03$

На графике на рис. 4 показаны судьбы трёх планет земной группы, это классическая диаграмма, где по вертикальной оси — температура, по горизонтальной — давление водяного пара. Мы видим траектории динамики процесса для 3-х планет: вся жидкость на Венере испарились и ушла в атмосферу, ионизовалась, а затем была унесена солнечным ветром. На Марсе всё, наоборот, замёрзло. А на Земле сохранились, по крайней мере пока, и жидкие океаны, и прекрасная атмосфера. Сейчас мы находимся между этими двумя экстремумами, и поэтому изучение планет земной группы, Марса и Венеры, очень важно для понимания того, что происходит на Земле.

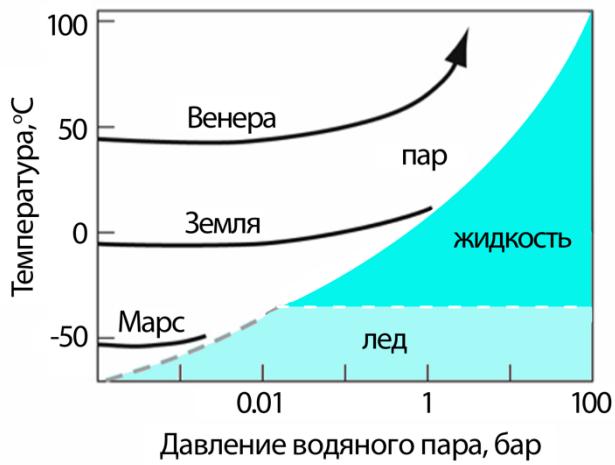


Рис. 4. Агрегатные состояния воды на Марсе, Земле и Венере. Венера: вся вода остается в атмосфере, температура катастрофически растет. Земля: образуются океаны. Марс: лед, вечная мерзлота. Цитир. по: [10].

Благодаря данным разработанного в ИКИ РАН прибора HEND на КА «Марс-Одиссей», удалось обнаружить на Марсе существенные подповерхностные запасы водяного льда в полярных областях и не только, что прибавляет оптимизма сторонникам колонизации Марса [11]. На Луне тоже есть вода, но гораздо меньше, на Венере воды почти нет.

Наличие воды на Марсе — это хорошая база для будущей экспедиции.

И вот мы видим, что «картинка» Скиапарелли (рис. 1) на самом деле не такая уж и неправильная — летом на экваторе Марса можно наблюдать, конечно, не каналы, но ручейки жидкой воды.

И тут мы приходим к вопросу о том, есть ли жизнь на Марсе. С одной стороны, ученые всего мира очень хотят ее найти. Но, с другой стороны, если представить, что на Марсе бы было свое население, то американским колонизаторам вроде Илона Маска пришлось бы загонять марсиан в резервации, как в свое время они поступили с коренными жителями Америки, и это бы принесло много проблем. Поэтому, возможно, с точки зрения будущей колонизации, это и хорошо, что на Марсе нет высших форм жизни.

Для поиска жизни на Марсе было сделано все необходимое: был специальный эксперимент Viking, который ничего не нашёл, марсоход Curiosity обнаружил древнюю разрушенную органику времен формирования Марса. Можно предположить, что когда-то на Марсе могла существовать некая микробная жизнь, но сохранилась ли она сейчас — большой вопрос, так как поверхность Марса сильно стерилизована: здесь низкое давление, солнечный ультрафиолет, космические лучи. То, что мы исследуем сейчас на поверхности, мы никак не можем использовать для обоснования колонизации, поскольку это только

тонкий слой, «пленка», и даже ее мы знаем не достаточно хорошо. Но что находится под поверхностью Марса, — мы знаем еще хуже.

Существовал замечательный российско-европейский проект «ЭкзоМарс», в его составе был европейский ровер с бурильной установкой, который мог бы нам дать какие-то ответы. Но проект долго переносился, в т.ч. и из-за эпидемии коронавируса, а потом в 2022 году к великому горю ученых был закрыт европейскими партнерами. На ровере было много разработанных в ИКИ РАН приборов, с помощью бурильной установки можно было бы получить образцы с глубины метров. Но наши надежды их исследовать, к сожалению, не оправдались. Поэтому то, что находится под поверхностью Марса — пока открытый вопрос (рис. 5).

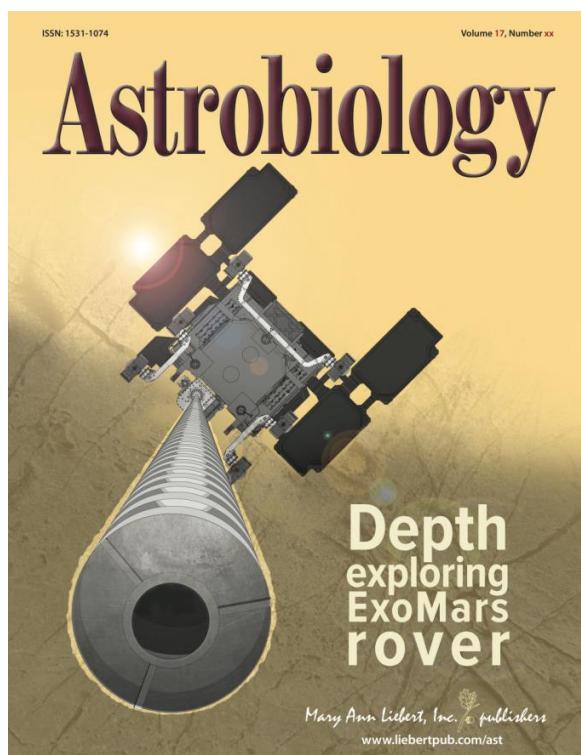


Рис. 5. Обложка журнала «Astrobiology» (2019) с изображенным на ней буром марсианского ровера «Пастер» второй части миссии «ЭкзоМарс» в представлении художника [12].

Известно, что на Марсе практически отсутствует магнитное поле. Все мы знаем, что на Земле магнитное поле выполняет роль щита, это барьер на пути радиации, солнечного ветра, космических лучей. Марс — небольшая планета, основное магнитное поле он потерял, осталось только слабое реликтовое магнитное поле, не способное ни от чего защитить. Атмосфера, как мы говорили, «жиденькая». Поэтому космонавты на его

поверхности будут подвержены всем «прелестям» космической радиации, почти такой же, что и в межзвездном пространстве.

В первой части проекта «ЭкзоМарс», на аппарате TGO, запущенном в 2016 г, который и сейчас успешно работает на марсианской орбите, наши болгарские коллеги и коллеги из Института медико-биологических проблем измерили там радиационный фон. Мы хорошо понимаем дозовую нагрузку (рис. 6), но понятие радиационного барьера для человека гораздо сложнее. Есть еще понятие «качества» радиации, отражающее эффективность воздействия ее разных типов на живые организмы.

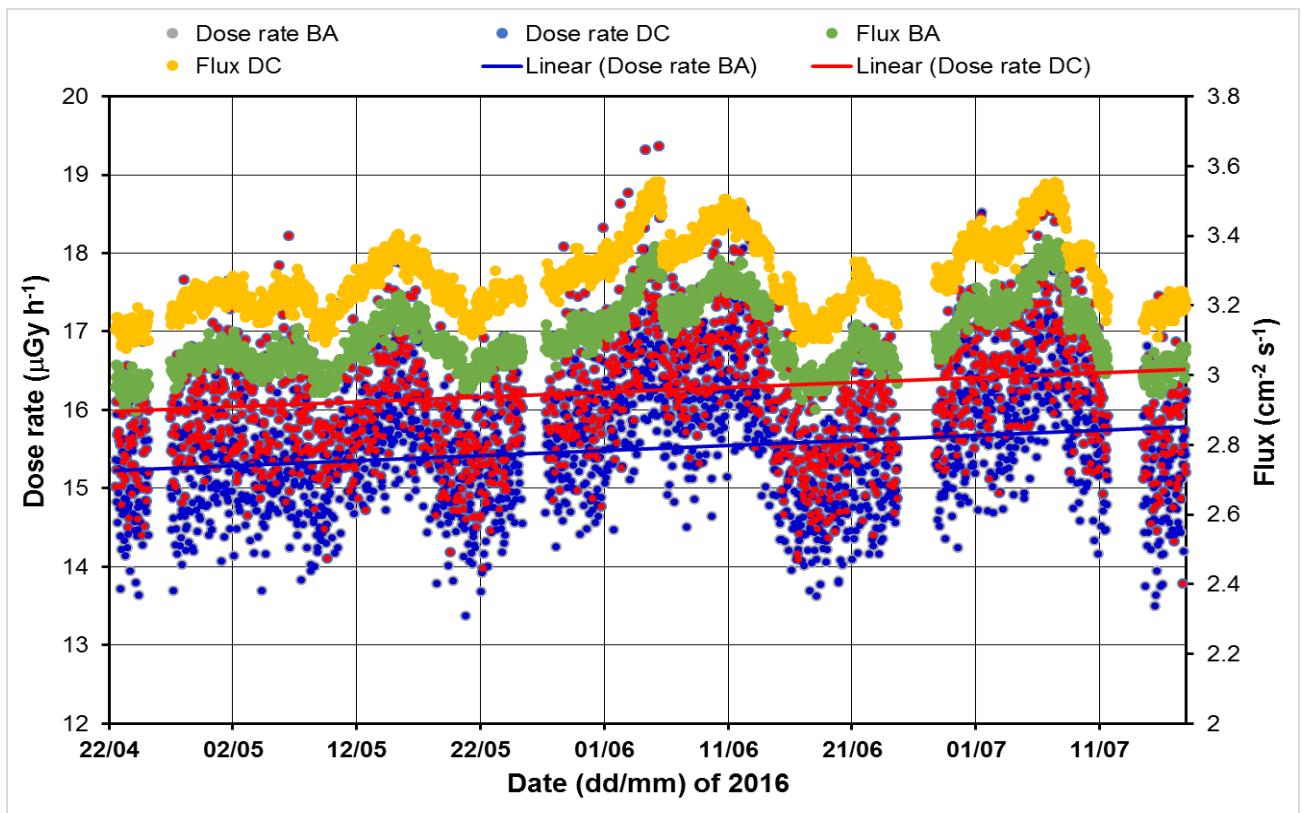


Рис. 6. Потоки и дозы галактических космических лучей, измеренные дозиметром «Люлин-МО» в составе прибора ФРЕНД за время перелета от апреля до июля 2016 г. (C) Роскосмос/ЕКА/ФРЕНД. Цитир. по: [13].

В природе существует два основных типа радиационного воздействия: один — это электромагнитное излучение — гамма-излучение, рентгеновское излучение, действие которых можно сравнить с дождем, а второй — это заряженные частицы, иногда достаточно тяжелые. Я бы сравнил их воздействие с проникающим ударом пули. Понятно, что взаимодействие этих двух типов с живыми объектами происходит совсем по разному.

Основную опасность представляют частицы, ускоряемые до громадных энергий в наиболее экстремальных процессах, разыгрывающихся в нашей Вселенной (вспышках

сверхновых, столкновениях компактных звездных объектов и др.). Это галактические и внегалактические космические лучи [14, 15]. Чем выше энергия таких частиц – тем реже они встречаются. Но вероятность такой неприятной ситуации вполне реальна. Проникающая способность таких «агрессивных» частиц очень велика. Хорошим фактом здесь является то, что в период Солнечного максимума Солнечный ветер сильно «выметает» такие частицы из Солнечной системы. Так что, вопреки интуиции лететь человеку на Марс лучше в годы активного Солнца.

Подводя итог можно сказать, что на пути известных идей и проектов Илона Маска по колонизации Марса вообще много барьеров. Эти барьеры — радиация, пылевые бури, маленькая гравитация и отсутствие магнитного поля, и как мы с этим справимся — пока не понятно.

Существует обширная программа NASA по исследованию Марса с помощью автоматических аппаратов. К сожалению, в списках будущих марсианских проектов до 30-х — 40-х гг. XXI века никаких российских аппаратов нет.

Заключение

В заключение хочется вспомнить фразу из фильма «Карнавальная ночь», которая уже давно стала крылатой: «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе — это науке не известно, наука пока не в курсе дела».

Иносказательно говоря, останется ли Марс мёртвой пустыней, или действительно станет запасной планетой для человечества, пока не понятно — слишком много трудностей, слишком много барьеров, слишком много неясного.

Марс остаётся не только научной целью, но и философским символом стремления человека к бесконечному. Исследования планеты помогут лучше понять не только эволюцию Солнечной системы, но и природу самой цивилизации. Россия, располагающая выдающимся наследием в области космонавтики и планетных исследований, может внести значительный вклад в международные миссии по исследованию этой планеты. Однако для этого необходимо объединить усилия науки, инженерии и гуманитарного знания. Только сочетание оптимизма и реализма позволит превратить мечту о Марсе в достижимую цель.

Список литературы

1. Марс: великое противостояние / Ред.-сост. В. Г. Сурдин. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 224 с.
2. Запасная планета для человечества // НГ-Наука. 14.02.2007. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2007-02-14/11_planeta.html (дата обращения: 20.11.2025).

3. Деталь альбедо //Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Деталь_альбедо (дата обращения: 20.11.2025).
4. Марсианин. Научно-фантастический фильм. 2015. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсианин_\(фильм\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсианин_(фильм)) (дата обращения: 20.11.2025).
5. *Bredbery R.* The Martian Chronicles. 1970. Bantam book №5613. 95 с.
6. *Тихов Г. А.* Астроботаника. Алма-Ата: 1949. 38 с.
7. *Бугров В. Е.* Марсианский проект Королёва. М.: Фонд «Русские Витязи», 2009. 316 с.
8. Misiones a Marte // Instituto Nacional de Tècnica Aeroespacial. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.inta.es/ExoMarsRaman/es/marte/> (дата обращения: 20.11.2025).
9. *Мороз В. И.* Физика планет. М.: Наука, 1967. 496 с.
10. *Жукова А.* «Долгоживущая» в поисках жизни: как готовится новая российская миссия к Венере // Научная Россия. 8.09.2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/dolgozivusaa-v-poiskah-zizni-kak-gotovitsa-novaa-rossijskaa-missia-k-venere> (дата обращения: 20.11.2025).
11. *Mitrofanov I. et al.* Maps of Subsurface Hydrogen from the High Energy Neutron Detector, Mars Odyssey // Science, 2002. Vol. 297. No. 5578. Pp. 78-81.
12. Astrobiology. 2019. №10.
13. ФРЕНД исследует поверхность Марса и радиационную обстановку у планеты // Пресс-центр ИКИ РАН. 19 сентября 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://press.cosmos.ru/frend-issleduet-poverhnost-marsa-i-radiacionnyu-obstanovku-u-planety> (дата обращения: 20.11.2025).
14. *Григорьев А. И.* К вопросу о радиационном барьере при пилотируемых межпланетных полётах // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87. № 1. С 65-69.
15. *Mitrofanov I. et al.* Neutron components of radiation environment in the near-Earth and near-Mars space // Planetary and Space Science. 2009. Vol. 57. No. 14-15. P. 1993-1995.

Лобыкин Андрей Александрович,
Руководитель Научно-технического центра,
Публичное акционерное общество Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
имени С. П. Королёва,
г. Королёв Московская область
andrey.lobykin@rsce.ru

Lobykin Andrey Alexandrovich,
Head of the Scientific and Technical Center,
S. P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energia” Public Joint Stock Company,
Korolev, Moscow Region
andrey.lobykin@rsce.ru

Стойко Сергей Федорович
Главный специалист,
Публичное акционерное общество Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
имени С. П. Королёва,
г. Королёв, Московская область
sergey.stoyko@rsce.ru

Stoyko Sergey Fedorovich,
Chief Specialist,
S. P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energia” Public Joint Stock Company,
Korolev, Moscow Region
sergey.stoyko@rsce.ru

МЕЖПЛАНЕТНЫЙ ЭКСПЕДИЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

INTERPLANETARY EXPEDITION COMPLEX

Аннотация. Рассмотрен возможный облик многоразового межпланетного экспедиционного комплекса (МЭК), его характеристики, варианты летной отработки, вопросы участия в международном проекте, предлагаемые технологии и модель сотрудничества. Предложен вариант ускоренной отработки элементов МЭК. Утверждается, что Марс – главное направление развития пилотируемой космонавтики.

Annotation. The possible appearance of a reusable interplanetary expeditionary complex (IEC), its characteristics, flight test options, issues of participation in an international project, proposed technologies and a model of cooperation are considered. A variant of accelerated development of IEC elements is proposed. It is claimed that Mars is the main direction for the development of manned space exploration.

Ключевые слова: межпланетный экспедиционный комплекс, пилотируемая экспедиция к Марсу, солнечная энергоустановка, ядерная энергоустановка, Российская орбитальная станция, технология.

Keywords: interplanetary expedition complex, manned expedition to Mars, solar power plant, nuclear power plant, Russian orbital station, technology.

Введение

В начале 60-х годов прошлого столетия в ОКБ-1 (сегодня РКК «Энергия» им. С. П. Королёва) был подготовлен «План освоения Марса и Венеры» (рис. 1).



Рис. 1. План освоения Марса и Венеры [1].

Спустя 60 лет в части реализации плана почти ничего не изменилось, — план по-прежнему актуален. Разница только в том, что тогда не было почти ничего, а сейчас есть почти всё, что позволяет подготовить и выполнить межпланетный полет.

Человечество научилось долго жить и работать в космосе, безопасно выходить в космическое пространство и возвращаться на Землю, выполнило шесть экспедиций на Луну, провело глубокую разведку, исследования Марса и ближайших к Земле планет с помощью автоматических аппаратов.

Обобщение работ по марсианской тематике проведено в книге «Пилотируемая экспедиция на Марс» (2006) под редакцией академика А. С. Коротеева [2]. В ней несколько ведущих организаций космической отрасли сформулировали свой взгляд на исследование и освоение Марса, предложили варианты космической транспортной системы для освоения космического пространства между Венерой и Марсом.

На сегодня в российских разработках по пилотируемым экспедициям на Марс возникла пауза длительностью более 20 лет. Тем не менее, работы по МЭК в РКК «Энергия» им. С. П. Королёва периодически проводятся, в основном, в инициативном порядке [3-6].

1. Межпланетный экспедиционный комплекс: облик, технические решения

МЭК для полёта на Марс рассматривается как универсальный многоразовый комплекс открытой архитектуры для полётов в межпланетном пространстве от Венеры до Марса, с возможностью выхода на орбиты вокруг Марса, Венеры, Луны, изучения спутников Марса и астероидов.

Вариант предлагаемого облика (на 2018 год) МЭК с солнечной энергоустановкой показан на рис. 2 [3, 4]

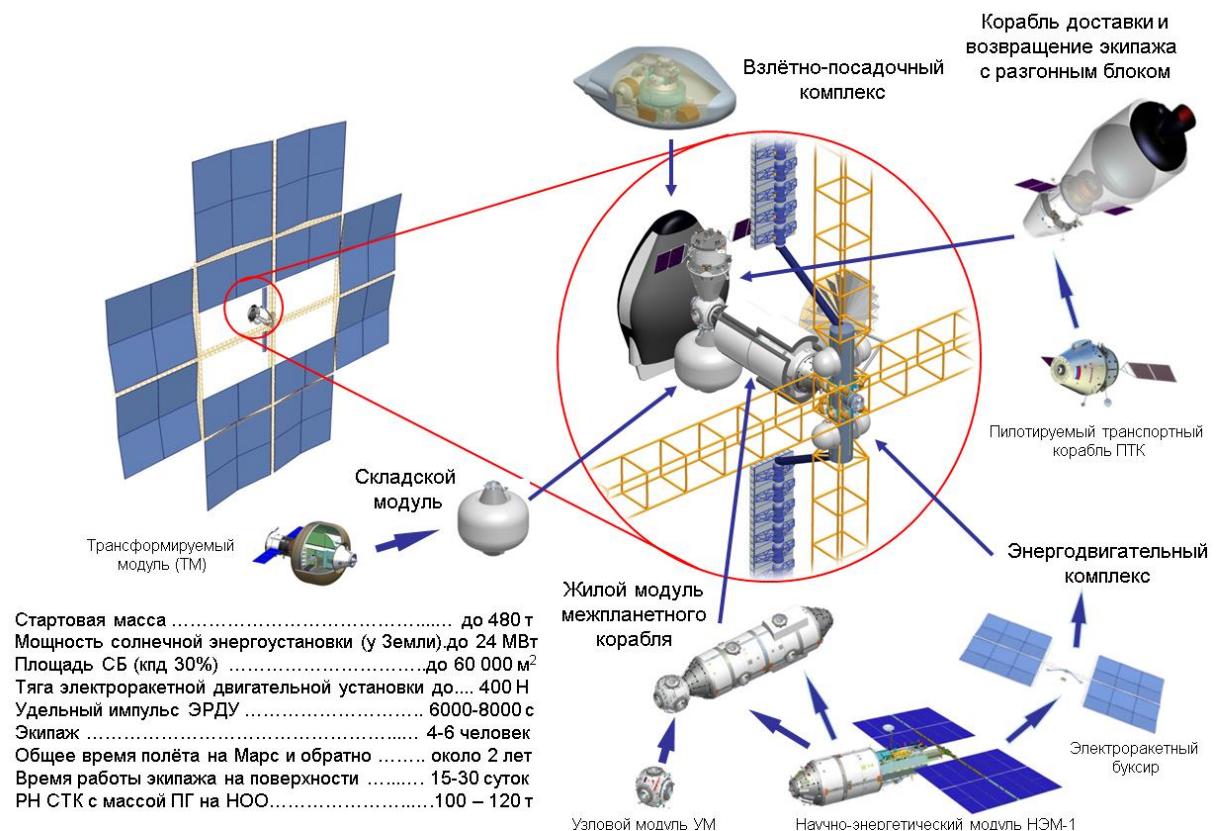


Рис. 2. МЭК с солнечной энергоустановкой (вариант 2018 года).

МЭК оснащён энергодвигательным комплексом на основе электроракетной двигательной установки (ЭРДУ), в качестве энергоустановки рассматривается солнечная энергоустановка (СЭУ), или ядерная энергоустановка (ЯЭУ) большой мощности, которые состоят из большого числа независимых модулей, что обеспечивает выполнение задачи экспедиции и безопасность экипажа при отказе нескольких модулей.

МЭК базируется и обслуживается на высокой околоземной орбите за пределами радиационных поясов Земли (РПЗ), экипаж доставляется с Земли на МЭК и обратно на пилотируемом транспортном корабле.

Радиационная защита экипажа обеспечивается компоновочными решениями, запасами воды и оборудования, размещением рабочего тела ЭРДУ вокруг жилых отсеков.

Элементы и составные части комплекса создаются с максимальным использованием существующих, а также разрабатываемых сегодня космических аппаратов, модулей, оборудования и адаптированы для выведения на околоземную орбиту любой из существующих или создающихся ракет-носителей (РН) сверхтяжелого класса (СТК).

2. Летная отработка МЭК и его элементов

Летная отработка проходит поэтапно:

подготовительный этап – в составе РОС для отработки технологий длительных межпланетных полетов и элементов МЭК;

первый этап (МЭК-1) – полет к Марсу по облетной траектории (начало пилотируемых полётов к Марсу) для отработки межпланетного орбитального корабля и комплекса в целом, подготовки экипажей, наземной космической инфраструктуры;

второй этап (МЭК-2) – полет с выходом на орбиту вокруг Марса для отработки марсианского взлетно-посадочного комплекса (МВПК) в беспилотном варианте;

третий этап (МЭК-3) – полет с посадкой экипажа на поверхность Марса для завершения отработки многоразового МЭК;

штатная эксплуатация МЭК.

За предыдущие десятилетия получен большой опыт полетов на орбитальных станциях «Салют», «Мир», Международной космической станции (МКС), что позволяет сегодня начать создание элементов межпланетного экспедиционного комплекса и приступить к реализации первых этапов пилотируемой межпланетной программы.

Разрабатываемая в настоящее время Российская орбитальная станция (РОС), её системы, элементы и модули являются прототипами элементов МЭК. Например, одними из главных элементов МЭК будут межпланетный орбитальный корабль (МОК) и корабль доставки и возвращения экипажа (КДВЭ), прототипами которых в составе РОС являются

научно-энергетический модуль (НЭМ) с узловым модулем (УМ) и пилотируемый транспортный корабль (ПТК).

По двум другим элементам МЭК: энергодвигательному комплексу (ЭДК) и МВПК работы сегодня целенаправленно не ведутся, но аналоги прорабатываются.

Энергодвигательный комплекс может быть разработан в нескольких вариантах:

электроракетная двигательная установка с солнечной энергоустановкой;

электроракетная двигательная установка с ядерной энергоустановкой;

комбинация электроракетной двигательной установки с ЯРД или ЖРД.

МВПК имеет в своем составе посадочный и взлетный модули, жилой-шлюзовой отсек, аэродинамический контейнер и не использует при посадке парашютную систему.

3. Возможная модель международного сотрудничества

В качестве базовой модели сотрудничества предлагается использовать опыт организации и кооперации по МКС, успешно функционирующей четверть века, отработанные в реальных условиях эксплуатации сложного комплекса.

Разработка МЭК предусматривает возможное международное сотрудничество, при этом рассматриваются варианты и выбираются оптимальные элементы межпланетного комплекса, систем, оборудования стран-участников с точки зрения технологии, надежности, безопасности, технических решений.

4. Технологии России, которые могут быть предложены для рассмотрения к участию в международном проекте

Среди них:

длительные полеты и их обеспечение (СОЖ, средства поддержки экипажа, управление);

организация внекорабельной деятельности (скафандрь, шлюзовые отсеки, методики подготовки, инструменты и оборудование);

электроракетные двигательные установки (ЭРДУ);

ЯЭУ для орбитального и поверхностного использования;

стыковочные агрегаты и системы стыковки;

марсоходы, мобильные марсианские станции.

Заключение

Для ускорения отработки элементов МЭК и более раннего начала полетов к Марсу (2029 – 2033 годы), на первом этапе (МЭК-1), учитывая относительно небольшую

требуемую V_x , вместо электроракетного буксира возможно использование разгонных блоков с ЖРД, при этом для сборки МЭК-1 на низкой околоземной орбите (НОО) необходимо выполнить два-три пуска РН СТК.

Подготовка к реализации пилотируемой межпланетной программы и создание МЭК является мощным стимулом развития новых технологий на Земле и в космосе, ключом к выполнению как околоземной, так и лунной программы, поэтому главным направлением развития пилотируемой космонавтики должен быть Марс (рис. 3).

Необходимо уже в настоящее время форсировать создание и отработку новых космических технологий, приступить к разработке конкретных элементов и систем МЭК, организовать подготовку к заключению межправительственных соглашений.

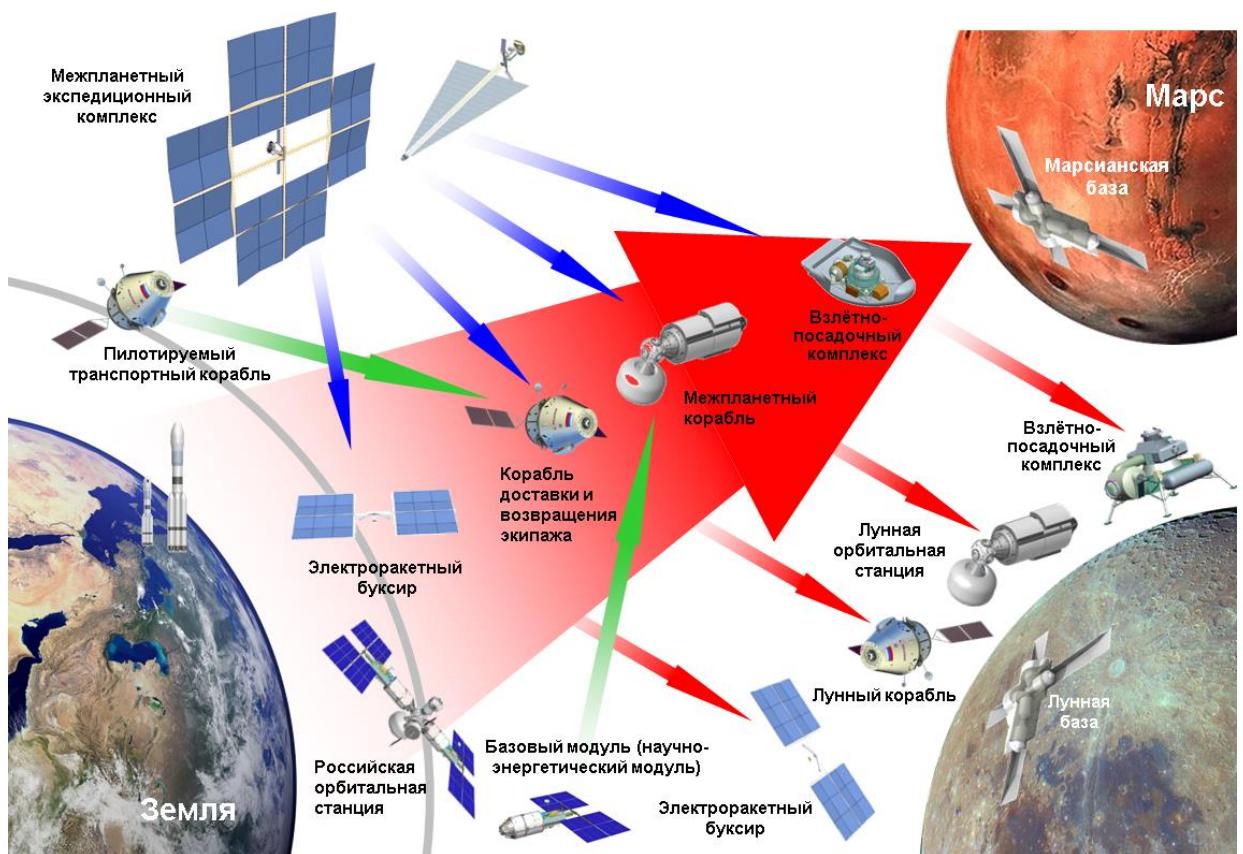


Рис. 3. Марс – главное направление развития пилотируемой космонавтики.

Список литературы

1. План освоения Марса и Венеры // РГАНТД. Ф. 107. Оп. 2. Д. 317. Л. 1.
2. Пилотируемая экспедиция на Марс/ Под ред. А. С. Коротеева. М.: Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.

3. *Безяев И. В., Стойко С. Ф.* Обзор проектов пилотируемых полетов к Марсу// Космическая техника и технология. 2018. № 3. С. 25–39.
4. *Брюханов Н. А., Горшков Л. А., Севастьянов Н. Н., Стойко С. Ф.* Концепция экспедиции на Марс // Известия РАН. Энергетика. 2007. № 4. С. 10–21.
5. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королёва. 1946–1996. М.: Изд. РКК «Энергия», 1996. 670 с.
6. *Горшков Л. А., Синявский В. В., Стойко С. Ф.* Межпланетные проекты С. П. Королёва и их развитие в РКК «Энергия» / В кн.: История развития отечественной пилотируемой космонавтики. М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2015. С. 253–273.

Жуков Сергей Александрович,
Кандидат технических наук,
Московский космический клуб,
г. Москва
nti-aeronet@mail.ru

Семёнкин Александр Вениаминович,
Доктор технических наук, Профессор,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана»,
г. Москва
a.v.semenkin@yandex.ru

Zhukov Sergey Aleksandrovich,
Candidate of Technical Sciences,
Moscow Space Club,
Moscow
nti-aeronet@mail.ru

Semenkin Alexander Veniaminovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“N. E. Bauman Moscow State Technical University”,
Moscow
a.v.semenkin@yandex.ru

ОБЗОР МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА

REVIEW OF GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF PROPULSION SYSTEMS FOR SPACECRAFT EXPLORING DEEP SPACE

Аннотация. В статье представлен обзор современных мировых тенденций развития энергодвигательных систем космических аппаратов, ориентированных на исследования дальнего космоса, и рассматривается потенциальный российский вклад в международные

марсианские миссии. Приводится классификация энергодвигательных систем космических аппаратов, сравнительный анализ солнечных, ядерных и химических технологий. Приведены данные об актуальных разработках электроракетных двигателей и космических ядерных установок, предназначенных для исследования дальнего космоса.

Abstract. This article presents a review of current global trends in power and propulsion systems for deep space spacecraft and power&propulsion transportation modules, with a particular focus on the potential Russian contribution to international Mars missions. It includes the classification of power and propulsion systems, information about solar, nuclear, and chemical technologies, developments in electric propulsion and space nuclear power systems.

Ключевые слова: Энергодвигательные системы, дальний космос, солнечные и ядерные энергоустановки, электроракетные двигатели, марсианские миссии, транспортно-энергетический модуль, космические технологии, Россия, международное сотрудничество.

Keywords: Power&Propulsion systems, deep space, solar and nuclear space power systems, electric thrusters, Mars missions, space technologies, Russia, international cooperation.

Введение

Разработка энергодвигательных систем для космических аппаратов, осуществляющих исследования дальнего космоса, приобретает особую значимость в связи с увеличением дальности и сложности межпланетных миссий, массы научной аппаратуры, используемой для исследования дальних планет. Одним из ключевых вызовов является обеспечение высокоэффективной, надежной и компактной энергетики и двигательных систем, способных обеспечить длительные полеты с большими значениями изменения характеристической скорости (ΔV). Солнечные и ядерные энергодвигательные установки занимают центральное место в стратегии освоения Марса и дальнего космоса, служа основой для перспективных космических исследований. Цель данного обзора — анализ современных мировых тенденций в развитии космических энергодвигательных систем применительно к возможному российскому вкладу в международные марсианские миссии. Приведены сведения о классификации энергодвигательных систем, технологических трендах их развития [1–11]. Эта работа ориентирована на инженеров, специалистов космической отрасли и руководителей проектов для поддержки принятия решений и развития новых программ.

Классификация и сравнительный анализ энергодвигательных систем

Современные энергодвигательные системы для космических аппаратов делятся, в зависимости от используемого источника энергии, на химические, солнечные и ядерные . В

качестве двигателей рассматриваются химические ракетные двигатели и электроракетные установки.

Солнечные системы используют энергию Солнца для питания электрических двигателей, обеспечивая высокий удельный импульс и привлекательную энергоэффективность, однако их эффективность уменьшается с ростом расстояния от Солнца.

Ядерные системы снабжают электроэнергией и теплом, обеспечивая стабильную работу вне зависимости от солнечной радиации, что критично для миссий в глубокий космос.

Химические двигатели обладают высокой мгновенной тягой, но уступают по удельному импульсу и ресурсу работы электроракетным двигательным установкам (ЭРДУ). Поэтому применение ЭРДУ дает возможность существенного снижения массы топлива и, соответственно, всего космического аппарата для осуществления миссий в дальний космос.

Приведем поясняющие цифры. Если мы используем традиционные ракетные технологии, для отправки на Марс экипажа из 10 человек нужно собрать на орбите Земли космический комплекс массой в 400 тонн, 85–90 % которой составляет топливо. Для выведения на орбиту Земли 400 тонн груза потребуются ракеты-носители суммарной массой в 20 раз больше. Это не пройдет бесследно для экологии, окружающей среды.

Есть альтернативный вариант: полёты с малой тягой на электрических двигателях. При этом мы будем лететь не месяцы, а годы, но довезём до Марса уже не 10–15% исходной массы, а 75–80 %. Поэтому, если мы хотим что-то доставлять на Марс, нам наверняка потребуются ЭРДУ, которые долго летят, но способны с минимальной стартовой массой доставлять грузы на орбиту Марса.

Выбор энергетической системы определяется задачами миссии: для ближнего космоса в условиях достаточного солнечного освещения приоритетны солнечные установки, для миссий за орбиту Марса — ядерные энергоустановки. При этом для решения маршевой задачи рассматриваются электроракетные двигатели, а быстрых маневров — химические двигатели.

Мировые тенденции развития мощных энергетических систем космических аппаратов и электроракетных двигателей

За последние десятилетия электроракетные двигатели (ЭРД) прошли значительную эволюцию, расширились по мощности и функциональности. Активные разработки ведутся в США, ЕС, Китае, Японии и России.

Известны несколько типов ЭРД, различающихся способом ускорения рабочего вещества.

Ключевые технологии:

- Двигатели с замкнутым дрейфом электронов – стационарные плазменные двигатели и двигатели с анодным слоем, объем применения которых во всем мире постоянно увеличивается. Это связано, в первую очередь, в рациональным набором параметров, который позволяет применять этот тип ЭРД для коррекции орбиты космических аппаратов, осуществления межорбитальных маневров как тяжелых геостационарных КА, так и относительно небольших космических аппаратов различных связанных группировок, например, Starlink и OneWeb, в которых к настоящему времени функционирует несколько тысяч КА.

Российские разработки этого типа двигателей, выполненные в 20-м столетии - СПД-290, ТМ-50, VHITAL-160 - и предназначенные для энерговооруженных космических транспортных систем, успешно продемонстрировали возможности создания двигателей мощностью до 50 кВт и двигательных установок мощностью в сотни киловатт путем объединения в связки – кластеры – нескольких одновременно работающих двигателей.

- Ионные двигатели среди существующих типов ЭРД обладают наибольшим ресурсом работы и высоким удельным импульсом, что дает возможность эффективно использовать их в межпланетных перелетах и исследованиях дальнего космоса. Успешно осуществлены миссии Deep Space и Dawn (США), Hayabusa (Япония), выполнены разработки двигателей мощностью до десятков киловатт, а развертывание сборок из нескольких ионных двигателей позволяет гибко варьировать мощность двигательной установки.

- Магнитоплазмодинамические двигатели (МПД) обладают наибольшей энергоемкостью среди известных ЭРД, обеспечивая возможность создать компактную двигательную установку с большой тягой. Однако высокая энергоемкость ведет к существенным трудностям в обеспечении ресурса работы. Поэтому на сегодняшний день этот тип двигателей еще ждет своего применения.

По мощности к МПД близок двигатель VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket), который исследуется в США. Этот тип двигателя ориентирован на использование в качестве рабочего тела водорода, который потенциально может быть получен на других планетах из местных ресурсов, что дает возможность рассматривать космические миссии с дозаправкой в космосе.

Россия занимает лидирующую позицию в сфере электроракетных двигателей и ядерных энергоустановок:

АО «ОКБ “Факел”» и АО ГНЦ «Центр имени М. В. Келдыша» — ключевые отечественные разработчики электроракетных двигателей наиболее перспективных типов — с замкнутым дрейфом электронов и ионных двигателей, обладающих высоким КПД, ресурсом и мощностью, подходящими для дальних миссий с использованием тяжелых энергодвигательных модулей мегаваттного класса.

Госкорпорациями «Роскосмос» и «Росатом» ведется разработка транспортно-энергетических модулей на основе ядерных энергоустановок мегаваттного класса, в которых электрическая энергия, генерируемая ядерной энергоустановкой, используется для питания мощной электроракетной двигательной установки. Подобные работы были выполнены и США в рамках проекта Prometheus. Активный интерес к этому направлению в последние годы сформировался в Китае.

Сводные сведения о разработках мощных транспортных энергодвигательных систем в мире в период конца XX - начала XXI века приведены в таблице.

Сочетание высоких технологий, созданных в ГК «Роскосмос» и ГК «Росатом» в рамках работ по созданию энерговооруженного транспортно-энергетического модуля, позволило создать привлекательную основу для перспективного международного сотрудничества, в рамках которого можно обеспечить доставку к Марсу и дальним планетам тяжелой научной аппаратуры, осуществить уникальные миссии по исследованию спутников планет-гигантов и целый ряд ранее невозможных научных исследований.

Использование ядерных энергодвигательных установок мегаваттного класса способно существенно сократить затраты времени на межпланетные перелеты, служить средством доставки тяжелого напланетного оборудования для пилотируемой экспедиции на Марс, а реализация многоразовых космических буксиров дает возможность существенно сократить финансовые затраты, например, при обеспечении постоянного грузопотока для обитаемой лунной базы.

Заключение

Развитие энергодвигательных систем для дальнего космоса является фундаментальным направлением космических исследований и освоения Марса.

Современные технологии, включая солнечные, ядерные и электроракетные двигатели, продолжают совершенствоваться в условиях международной конкуренции и сотрудничества. Россия занимает важное место в этой области, обладая передовыми разработками и амбициозными проектами по созданию ядерных межпланетных буксиров.

Таблица. Сведения о разработках мощных транспортных энергодвигательных систем в мире [1-11].

Перечень основных характеристик		Характеристики энергодвигательных систем							
Название проекта / тип энергодвигательной системы		Космический буксир с ядерной энергоустановкой, "Геркулес"	Космический буксир с ядерной энергоустановкой, "Prometheus"	Транспортно-энергетический модуль с ядерной энергодвигательной установкой мегаваттного класса	Mega-watt-class power- and transportation module	Солнечный космический буксир	Солнечный космический буксир	Пилотируемая экспедиция на Марс с использованием ядерной энергоустановки	Пилотируемая экспедиция на Марс с использованием ядерной энергоустановки
Разработчик, страна	РКК «Энергия», СССР	NASA, США	Центр Келдыша, НИКИЭТ, РКК "Энергия" КБ «Арсенал» Россия	ЕС	NASA, США	РКК «Энергия» Россия	NASA, США	КНР	
Период разработки	1960-е-1990-е	2002-2006	2009 - н.в.	2009-2015	2010–2016	~2009	1960-е-1970-е, 1980-е-2010-е	~2015–н.в.	
Электрическая мощность, кВт	550	200	до 1000	до 1000	300	400	10000	15000	
Тип электроракетных двигателей	МПД, двигатели с замкнутым дрейфом электронов	Ионные двигатели	Ионные двигатели	Ионные двигатели или двигатели с замкнутым дрейфом электронов	Двигатели с замкнутым дрейфом электронов	Двигатели с замкнутым дрейфом электронов	МПД или VASIMR	МПД или VASIMR	
Мощность единичного двигателя, кВт	25	20-40	35	-	40	25-50	2500	1000	
Удельный импульс, сек	3000	6000-8000	7000	~7000	2000	3000-4000	-	5000	
Суммарная тяга, Н	25,5	~4	18	-	~15,5	16	-	540	

Перспективы развития технологий обещают значительное сокращение времени полетов и повышение эффективности космических миссий, что открывает новые горизонты для изучения и освоения дальнего космоса.

Список литературы

1. *Koroteev A. S., Akimov V. N., Zakharenkov L. E. et al. Initiatives in Very High Power Electric Propulsion with Solar and Nuclear Power Sources , paper 00194, 6th Conference on Space Propulsion, Seville, Spain, 2018.*
2. *Semenkin A. V., Solodukhin A. E., Lovtsov A. S. Modern Trends of Spacecraft Power and Propulsion Systems, Global Space Exploration Conference, Saint-Peterburg, Russia, 2021.*
3. 4.0 In-Space Propulsion – NASA. State-of-the-Art of Small Spacecraft Technology [Электронный ресурс]. https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/in-space_propulsion/ (дата обращения: 25.11.2025).
4. *Frank J. et al «INPPS Flagship: Cluster of Electric Thrusters», Proceedings of 70th International Astronautical Congress (IAC), Washington D.C., United States, 21-25 October 2019.*
5. *Gafarov A. A. et al, Modern Trends in Spacecraft Power and Propulsion Systems and Electric Thrusters, The 8-th Russian-German Conference on Electric Propulsion and their application, EDB “Fakel”, 11.04 2021-15.04 2021.*
6. *Sinyavskiy V. V. «Advanced Technology for Nuclear Electric Propulsion Orbital Transfer Vehicle HERCULES», Space Engineering and Technology 2013. № 3. Pp. 25–45.*
7. *Prometheus Project Final Report, National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory, CA Pasadena 982-R120461, October 1, 2005.*
8. *Lovtsov A. S., Shagayda A. A., Muravlev V. A., and Selivanov M. Y. «Ion Thrusters Development for a Transport and Power Generation Module Project», 34th International Electric Propulsion Conference, Hyogo-Kobe, Japan, 2015, IEPC -2015- 291.*
9. *Randolph T. M., Polk J. E. «An Overview of the Nuclear Electric Xenon Ion System (NEXIS) Activity», AIAA 2004-3450, 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 11- 14 July 2004, Fort Lauderdale, FL.*
10. *Elliott F. W., Foster J. E., Patterson M. J. «An Overview of the High Power Electric Propulsion (HiPEP) Project», AIAA 2004-3453, 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 11- 14 July 2004, Fort Lauderdale, FL.*
11. Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М.: РАКЦ им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.

Крючков Борис Иванович

Доктор технических наук, Главный научный сотрудник,

**Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский
испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина»**

Звёздный городок Московская область

b.kryuchkov@getc.ru

Kryuchkov Boris Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher,

Federal State Budgetary Institution

“Y. A. Gagarin Scientific Research Testing Cosmonaut Training Center”,

Zvezdny Gorodok, Moscow Region

b.kryuchkov@getc.ru

ОТБОР И ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКИПАЖЕЙ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ПОЛЕТЕ

SELECTION AND TRAINING OF ASTRONAUTS. FORMATION OF CREWS. IN-FLIGHT ACTIVITIES

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с подготовкой человека к осуществлению пилотируемой миссии на Марс. Оценивается опыт, приобретенный отечественной космонавтикой в области отбора, подготовки и обеспечения полетной деятельности космонавтов на пилотируемых комплексах длительного функционирования. Показано, что имеющиеся практические результаты и научно-технические заделы по безопасному и эффективному выполнению пилотируемых полетов могут быть основой для подготовки новых международных, в т.ч. межпланетных экспедиций. Богатый опыт международного сотрудничества в космосе по пилотируемым программам, в первую очередь с США, позволяет надеяться, что он может стать надежной платформой для организации международной пилотируемой экспедиции на Марс.

Annotation. The article discusses issues related to human preparation for the implementation of a manned mission to Mars. The experience gained by the Russian cosmonautics in the field of selection, training and flight support of astronauts on long-term manned complexes is being evaluated. It is shown that the available practical results and scientific and technical groundwork for the safe and effective implementation of manned flights can be the basis for the preparation of new international, including interplanetary expeditions. The rich experience of

international cooperation in space on manned programs, primarily with the United States, allows us to hope that it can become a reliable platform for organizing an international manned expedition to Mars.

Ключевые слова: Отбор, подготовка, космонавты, международное сотрудничество, космический полет.

Keywords: Selection, training, astronauts, international cooperation, space flight.

Введение

Подготовка человека к полету на Марс имеет столь же важное значение, как и решение комплекса научно-технических задач, обеспечивающих реализуемость миссии и безопасность ее экипажа.

В России накоплен большой практический опыт отбора и подготовки космонавтов для выполнения длительных (месяцы) и сверхдлительных (год и более) полетов на околоземных орбитальных комплексах, который должен учитываться при подготовке полетов человека на Марс. Примечательно, что этот опыт накапливался не только в рамках национальных проектов, но и при осуществлении международных программ. Особенно важные результаты в данной сфере достигнуты в рамках полетов на орбитальных комплексах «Салют», «Мир» и Международной космической станции (МКС).

По многим характеристикам деятельности экипажей и условиям пребывания на МКС космонавтов, международная станция может служить аналогом марсианского экспедиционного комплекса. Это обстоятельство позволяет исследовать возможности экипажа марсианской экспедиции при выполнении новых ключевых задач и операций его полетной деятельности.

1. Отбор космонавтов

Действующая система отбора космонавтов является итогом 65 – летнего опыта, полученного при осуществлении множества пилотируемых космических программ в нашей стране.

Отбор кандидатов на полеты в космос из числа претендентов является лишь первым этапом отбора космонавтов. После зачисления отобранных лиц в отряд космонавтов, им предстоит пройти, до включения в экипаж для полета на конкретном пилотируемом космическом аппарате (ПКА), еще целый ряд процедур так называемого пролонгированного отбора. По сути, пролонгированный отбор обеспечивает непрерывное изучение состояния и уровня развития профессионально важных качеств (ПВК) личности космонавта, начиная с первичного отбора кандидата до назначения его в экипаж. При этом осуществляется

устойчивое взаимодействие процессов отбора космонавтов с подготовкой к выполнению космических полетов. Система пролонгированного отбора охватывает все этапы подготовки космонавтов: общекосмической, подготовки в составе групп специализации и совершенствования, подготовки в составе основных и дублирующих экипажей. Именно на этих этапах происходит дальнейшее развитие ПВК космонавтов.

Особые условия экстремальной среды обитания за пределами земных орбит, положение Марса в космическом пространстве, его геолого-географические характеристики, а также такие факторы как новые задачи, возлагаемые на космонавтов в ходе выполнения межпланетной миссии, возможные риски ее осуществления выдвигают особые требования к отбору космонавтов в экипаж марсианского пилотируемого комплекса [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 15].

Исходя из имеющегося отечественного и зарубежного опыта отбора космонавтов и астронавтов, можно рекомендовать определенную последовательность отбора космонавтов марсианской миссии (рис.1). Естественно, что в силу преемственности, она будет включать хорошо зарекомендовавшие себя составляющие ныне действующей системы отбора.



Рис. 1. Последовательность обеспечения отбора космонавтов для полетов на Марс (обозначения: ВКД – внекорабельная деятельность; РТК – робототехнический комплекс).

Действующая система отбора космонавтов в РФ основывается на принципах открытых конкурсных отборов кандидатов в космонавты, которые проводились четырежды: в 2012г., 2017–2018 гг., 2019–2020 гг., 2023–2024 гг.

Концепция формирования, структура, содержание и порядок функционирования данной системы отбора отвечают современным требованиям, предъявляемым к обеспечению необходимой профессиональной квалификации экипажей ПКА типа «Союз» и Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС), изложенным в соответствующих нормативных документах. Общая структурная схема профессионального отбора является многокомпонентной и многоуровневой системой [1].

С 2012 г. в Российской Федерации осуществляются открытые конкурсные отборы космонавтов, порядок проведения которых к настоящему времени отработан.

Действующая система отбора космонавтов представляет собой структуру, объединяющую нормативно-правовую, организационно-методическую и научную базы отбора, а также средства материально-технического обеспечения. Открытые конкурсы обеспечивают отбор кандидатов в состав отряда космонавтов Роскосмоса из числа претендентов, добровольно изъявивших желание участвовать в отборе.

Порядок проведения этих конкурсов приведен на рис. 2.

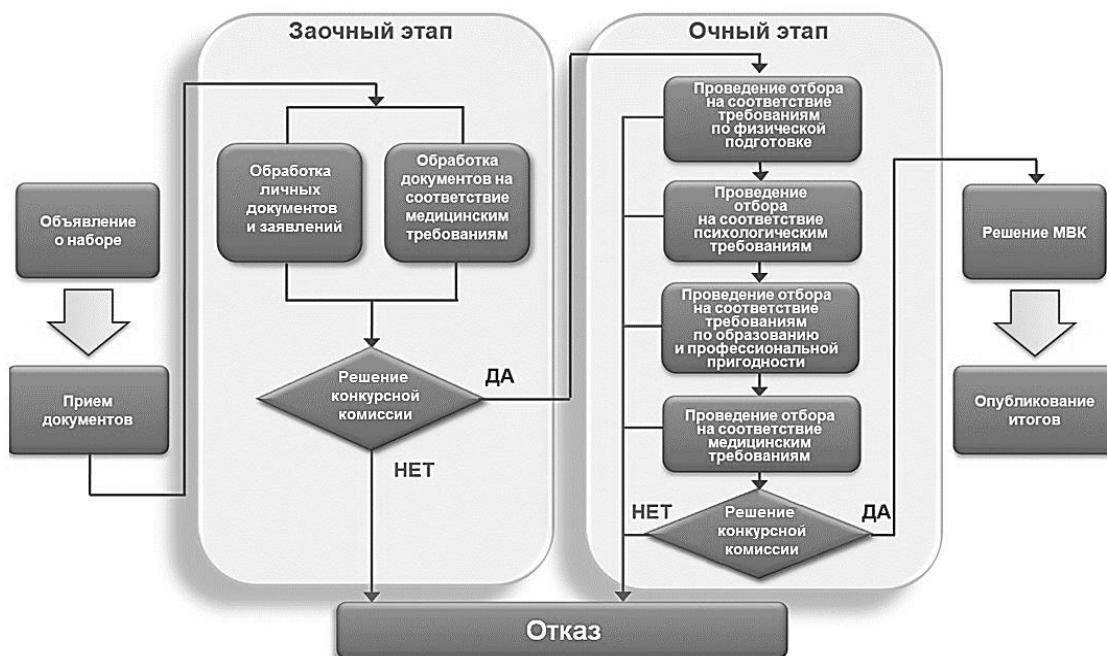


Рис. 2. Блок-схема проведения отбора.

Отбор состоит из трех этапов: заочного, очного и заключительного. На заочном этапе рассматриваются заявления, личные и медицинские документы претендентов, конкурсная комиссия принимает решения о допуске претендентов на следующий этап отбора. На очный

этап приглашаются лишь те претенденты, кто прошел заочный этап отбора. Очный этап предусматривает прохождение претендентами 4 видов отбора (на соответствие требованиям по физической подготовленности, психологическим требованиям, требованиям по образованию, профессиональной пригодности и медицинским требованиям). Решением конкурсной комиссии отбираются претенденты для представления на Межведомственную комиссию по отбору космонавтов и их назначению в составы экипажей пилотируемых кораблей и станций (МВК). На заключительном этапе МВК вырабатывает рекомендации о назначении наиболее пригодных для выполнения профессиональной деятельности космонавтов на должности кандидатов в космонавты-испытатели (исследователи) Отряда космонавтов.

2. Формирование экипажей

В соответствии с положениями руководящих документов при подготовке космонавтов формируются основные, дублирующие и при необходимости резервные экипажи ПКА. В их состав включаются космонавты, прошедшие обучение в группах совершенствования и специализации в объеме базовой подготовки и признанные, согласно заключению Главной медицинской комиссии (ГМК), годными по состоянию здоровья к подготовке в составе экипажа.

При наличии соглашений (договоров, контрактов), в т.ч. международных, в состав экипажей могут включаться иностранные граждане в качестве профессиональных космонавтов, а также участников космического полета (УКП).

Предложения по составу конкретных экипажей подготавливаются Научно-исследовательским испытательным Центром подготовки космонавтов (НИИ ЦПК) и утверждаются установленным порядком МВК в сроки, достаточные для подготовки к конкретному космическому полету.

Согласно законодательству командиром экипажа ПКК Российской Федерации назначается космонавт – гражданин РФ. Он наделяется всей полнотой власти, необходимой для осуществления космического полета и руководства экипажем. Ответственность командира экипажа на борту ПКА определяется в соответствии с законом РФ «О космической деятельности».

Основные принципы и правила профессионального поведения космонавтов определяются «Кодексом профессиональной этики космонавтов РФ», введенным в действие ГК «Роскосмос» в 2019 г. Кроме того, космонавты, назначенные в состав экипажа МКС, должны соблюдать «Кодекс поведения экипажа МКС», одобренный Распоряжением Правительства РФ и действующий с 2000 г.

3. Подготовка космонавтов

Российская система подготовки космонавтов (РСПК) была основана в 1960 году. Ее рождение было непосредственно связано с созданием специального Центра для подготовки человека к первому полету в космос. Он получил название, известное теперь во всем мире как Центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина.

Одной из главных особенностей профессиональной подготовки космонавтов является необходимость приобретения первичного «космического» опыта в наземных условиях. Этот опыт они приобретают на наземных и летных (самолетах-лабораториях) тренажерах, на которых моделируются условия деятельности экипажей космических кораблей и станций. Результатами подготовки космонавтов на тренажерах во многом определяется успех космического полёта в целом – его эффективность и безопасность.

За время существования НИИ ЦПК полеты совершили более 150 экипажей и 136 отечественных космонавтов (на середину 2025 года), причем многие из них многоократно. РСПК представляет собой чрезвычайно сложную, сильно разветвленную, пространственно распределенную и взаимоувязанную с различными организациями и ведомствами систему. Ее отличительные особенности: научная обоснованность, структурная сбалансированность, единственный в своем роде персонал, уникальная техническая оснащенность, четкая система планирования и высокое качество подготовки космонавтов.

Базовая концепция места и роли российской системы подготовки космонавтов в общей системе космической деятельности строится на подходе, основанном на ее рассмотрении не как изолированной и замкнутой системы, а как неотъемлемой составной части метасистемы – общей системы подготовки и осуществления космических полетов [7].

Космонавты и специалисты НИИ ЦПК участвуют в создании и модификации космической техники, а также в формировании пилотируемых космических программ и программ полетов конкретных экспедиций на ПКА.

Представленный подход позволяет адаптировать структуру и функции системы подготовки космонавтов под задачи космических полетов, объем планируемых испытаний и исследований. Кроме того, обеспечивается включение системы подготовки космонавтов в процесс проектирования космической техники с учетом эргономических требований к бортовым системам и оборудованию.

Подготовка космонавтов состоит из ряда этапов (рис. 3):

- первый этап – общекосмическая подготовка (ОКП) кандидатов в космонавты;
- второй этап – подготовка космонавтов в составе групп специализации и совершенствования по типам ПКА или направлениям специализации;

- третий этап – подготовка космонавтов в составе утвержденных экипажей к конкретному космическому полету на ПКА;
- четвертый этап – подготовка экипажей на борту ПКА в процессе космического полета.

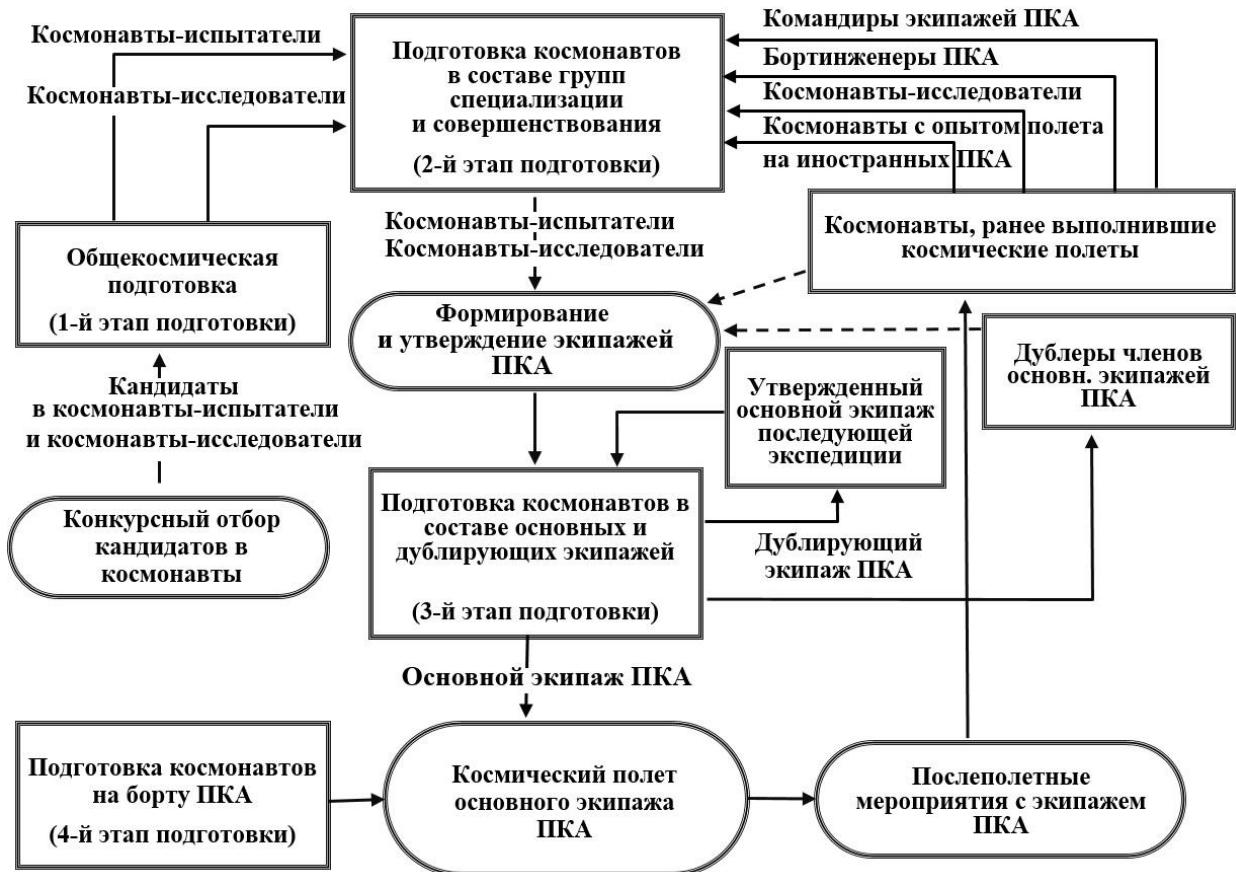


Рис. 3. Последовательность и взаимосвязи этапов подготовки космонавтов [1].

4. Международное сотрудничество

Начало практическому международному сотрудничеству в области пилотируемых космических полётов положено реализацией в июле 1975 года советско-американской программы «Союз»-«Аполлон» («ЭПАС»). Программа «ЭПАС» была утверждена соглашением между СССР и США о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях от 24 мая 1972 года. На всех этапах разработки и осуществления этого проекта НИИ ЦПК принимал самое активное участие [7].

Советским и американским специалистам сообща пришлось решить множество организационных проблем и преодолеть немало технических трудностей. Усилия ученых,

инженеров и космонавтов двух стран позволили реализовать первый международный проект в период с 15 по 25 июля 1975 года. Впервые была произведена стыковка космических кораблей разных стран («Союз-19» и «Аполлон-18») и осуществлен переход космонавтов из одного корабля в другой. На орбите была создана первая международная пилотируемая космическая станция. Членами экипажей были: с советской стороны – А. А. Леонов, В. Н. Кубасов, а с американской – Т. Страффорд, В. Бранд, Д. Слейтон.

В процессе осуществления программы «ЭПАС» в НИИ ЦПК был накоплен опыт планирования и организации подготовки международных экипажей, взаимодействия с зарубежными коллегами, совместного решения сложных организационных и технических проблем. Все это стало в последующем хорошей основой для осуществления новых международных пилотируемых миссий в космос.

Очередными важными страницами международной пилотируемой космонавтики стали полёты на советских космических кораблях «Союз» и орбитальной станции «Салют-6» по программе «Интеркосмос» в 1978–1981 годах. Всего в рамках этой программы было осуществлено 9 пилотируемых полётов с участием космонавтов из социалистических стран. На орбитальной станции «Салют-7» полеты продолжились с участием космонавтов Франции и Индии.

Качественно новый этап международного сотрудничества в области пилотируемых полётов связан с научно-исследовательским орбитальным комплексом (ОК) «Мир» [7]. На его борту работали представители Сирии, Болгарии, Афганистана, Франции, Японии, Великобритании, Австрии, Германии и др. С 1995 г. иностранцев включили в состав основных экспедиций для выполнения многомесячных полетов. В рамках программ «Миршаттл» и «Мир-НАСА» было совершено девять полетов к ОК «Мир» на многоразовом транспортном космическом корабле (МТКК) США «Спейс Шаттл».

На станции «Мир» иностранные космонавты впервые стали принимать участие в ВКД (Жан-Лу Кретьен – Франция, Т. Райтер – Германия).

За 5511 суток полета ОК «Мир» (4594 в обитаемом режиме) на нем работало 104 космонавта и астронавта из 12 стран (42 российских, 44 США, 6 французов, 4 немца, по 1 чел. из 8 других стран).

Строительство на орбите Международной космической станции (МКС) началось в ноябре 1998 года с запуска функционально-грузового блока «Заря» и завершилось в 2021 году, когда к МКС были пристыкованы многоцелевой лабораторный модуль «Наука» и узловой модуль «Причал». МКС – международный проект, в нем участвуют Россия, США, Европейское космическое агентство, Япония и Канада. К маю 2024 года на МКС выполнили полёты экипажи 70 основных экспедиций и 21 экспедиции посещения.

На станции работали 277 человек из 22 стран: 60 россиян; 167 американцев; 11 японцев; 9 канадцев; 5 итальянцев; по четыре француза и немца; по два гражданина Саудовской Аравии и ОАЭ; по одному гражданину Белоруссии, Испании, ЮАР, Бельгии, Нидерландов, Бразилии, Швеции, Малайзии, Южной Кореи, Дании, Казахстана, Великобритании и Израиля. В рамках соглашений между РФ и США выполняются перекрестные полеты на МКС – космонавтов РФ на «Crew Dragon», астронавтов США на кораблях типа «Союз».

Работа по подготовке космонавтов и астронавтов из других стран в НИИ ЦПК продолжается.

5. Экспериментальные исследования деятельности космонавтов марсианской миссии

При осуществлении пилотируемой экспедиции на Марс экипажу придется выполнить большой комплекс задач по управлению межпланетным комплексом, поддержанию его в работоспособном состоянии, реализации научной программы. Большое число задач марсианской миссии будет связано с деятельностью космонавтов на поверхности планеты. При их осуществлении должен выполняться ряд операций, включающих ВКД, использование планетоходов, РТК и других технических средств [8, 9, 10].

С целью исследования возможностей экипажей будущих миссий по выполнению ряда наиболее важных операций на поверхности Марса в НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина проводятся эксперименты на моделирующих комплексах, с участием космонавтов, работавших на РС МКС. При этом полет на МКС рассматривался как аналог полета на Марс с точки зрения его продолжительности, режима труда и отдыха, влияния негативных факторов космоса и длительной изоляции, характера бортовой деятельности экипажа, профилактических мероприятий [1, 11, 12].

Продолжительность пилотируемой миссии на Марс и обратно зависит от возможностей ракет-носителей выводить в космос необходимую массу, выбранной траектории полета межпланетного орбитального комплекса (МОК), характеристик двигательной установки, целевых задач экспедиции.

На рис. 4 приведена гистограмма распределения продолжительности 210 длительных полетов космонавтов и астронавтов на МКС в виде нормированного полигона $\varphi_{\hat{t}}^*(t)$ и огибающей в виде соответствующей статистической функции $\tilde{\varphi}_{\hat{t}}^*(t)$.

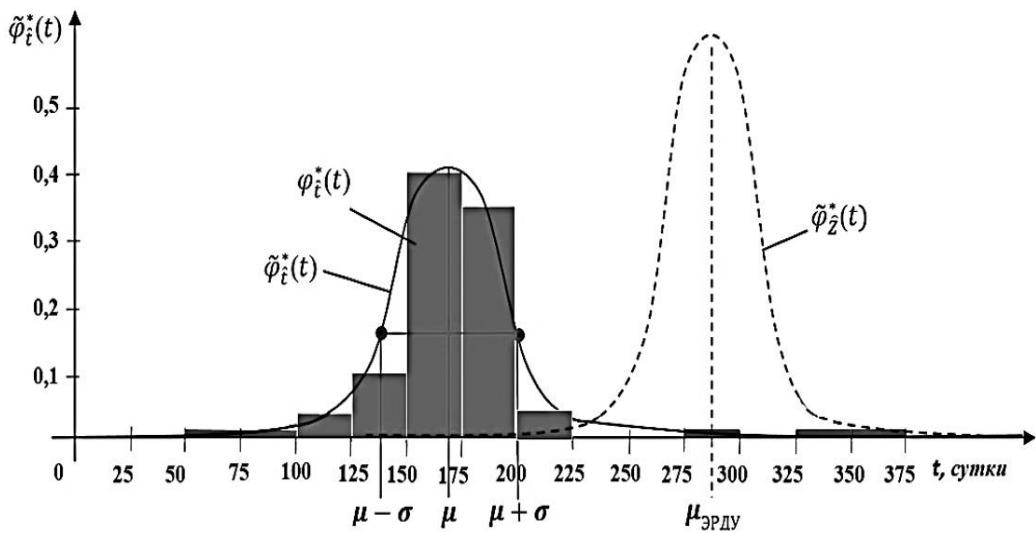


Рис. 4. Плотность распределения продолжительности длительных полетов космонавтов и астронавтов на МКС (на одного человека) и прогноз $\tilde{\varphi}_t^*(t)$ для МОК с ЭРДУ [2] (обозначение: ЭРДУ – электроракетная двигательная установка).

Функция $\tilde{\varphi}_t^*(t)$ имеет вид нормального закона распределения случайной величины:

$$\tilde{\varphi}_t^*(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\hat{t}-\mu_t)^2}{2\sigma_t^2}},$$

где: μ_t – математическое ожидание; σ_t – среднее квадратическое отклонение.

Кривая $\tilde{\varphi}_t^*(t)$ симметрична относительно оси ординат, проходящей через центр рассеивания $t_{\text{ц}} = \mu$, имеет максимум в этой точке, перегиб в точках $\mu_t \pm \sigma_t$, с достоверностью 0,94 все значения \hat{t} лежат на промежутке $[\mu_t \mp 3\sigma_t] = [167,5 - 3 \cdot 32,5; 167,5 + 3 \cdot 32,5] = [70; 265]$. Ещё одним подтверждением принадлежности $\tilde{\varphi}_t^*(t)$ к нормальному распределению является равенство 0,5 функции распределения $\tilde{F}_t^*(t)$ при $\mu_t = 167,5$.

При прогнозном оценивании конкретных марсианских проектов, например, МОК с ЭРДУ [14], можно ожидать, что $\sigma_{\hat{z}} < \sigma_t$ и $\mu_{\text{ЭРДУ}} > \mu_t$ (пунктирный график на Рис. 4).

Любые значения величины t_i для $Y^0_{<t>}$ от 105 до 350 сут попадают в диапазон от $\tilde{F}_t^*(t_{105})$ до $\tilde{F}_t^*(t_{350})$ с вероятностью 0,94.

При необходимости использования $\tilde{F}_t^*(t)$ в математических (например, имитационных) моделях более строгим будет применение нормального распределения в усечённой с обеих сторон форме, поскольку значения длительностей полетов для МОК рассматриваются лишь в пределах 105–350 сут, а остальные исключаются. Тогда для определения плотности распределения необходимо перейти к новой функции $\tilde{\varphi}_{\hat{z}}^*(t)$

$$\tilde{\varphi}_Z^*(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 105 \\ c \tilde{\varphi}_t^*(t) & \text{при } 105 < t < 350, \\ 0 & \text{при } t > 350, \end{cases}$$

где c – нормирующий множитель, он равен обратной величине степени усечения u .

В нашем случае:

$$u = \frac{1}{c} = \frac{1}{\tilde{F}_t^*(t_{350}) - \tilde{F}_t^*(t_{105})} = \frac{1}{0,93} = 1,08.$$

Таким образом, для всех рассматриваемых в данной работе марсианских проектов продолжительности перелётов по трассе Земля – Марс вполне сопоставимы с установленными длительностями полетов экипажей основных экспедиций МКС. В свою очередь, это позволяет в модельных послеполетных экспериментах с участием космонавтов, выполнивших полеты на МКС, рассматривать их как членов экипажей миссии, достигших Марса, и исследовать их деятельность как на трассе перелёта, так и на поверхности планеты.

Учитывая высокую автономность и длительность пилотируемого полета на Марс, ограничения по поддержке миссии центром управления полетом (ЦУП), пополнение ресурсов в ходе экспедиции, возможности человека по восприятию информации, утомляемость при длительной работе, подавляющее большинство проектов предусматривает круглосуточный (вахтовый) трёх- или двухсменный режим работы экипажа МОК. Вахту космонавтов на МОК можно рассматривать как особый вид круглосуточного дежурства, требующего непрерывного контроля работоспособности бортовых систем, обеспечения надёжного управления МОК, эффективного выполнения программы научных исследований, поддержания высокой работоспособности космонавтов.

На рис. 5 представлен режим труда и отдыха (РТО), когда члены экипажа МОК несут вахту попарно в три смены. При этом в рамках каждой смены индивидуальный график работы космонавтов практически не отличается от РТО на МКС, определяемого принятой «формой 24». В данной схеме РТО космонавтов МОК и экипажа МКС аналогичны.

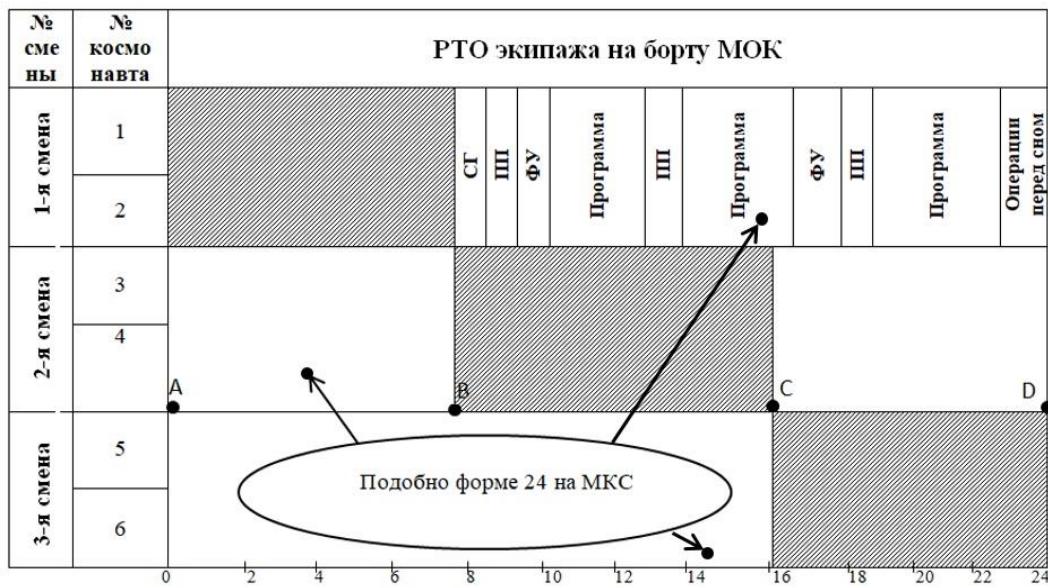


Рис. 5. Режим вахтовой работы экипажа МОК из 6 человек [2].

(Обозначения: СГ – санитарно-гигиенические мероприятия; ПП – приём пищи; ФУ – физические упражнения; Программа – служебные и целевые операции по программе полета МОК; - сон).

Рассмотрим, каково содержание операций, выполняемых экипажами МКС и МОК. В работе [13, с. 364] приводится перечень основных полётных операций для МОК с ЭРДУ. Их общее число – 21, при этом с участием экипажа реализуется 20. Из них 10 (50 %) достаточно близки по технологиям выполнения к операциям на околоземных орбитальных станциях. Другие 10 имеют некоторую специфику из-за отличий в орbitах, в конструктивно-технологическом исполнении оборудования, но функционально относятся к тем же служебным операциям. Например, операция «подготовка посадочного аппарата к спуску на планету, отход его от МОК, спуск» подобна операции по подготовке корабля типа «Союз» к его отделению от МКС, расстыковке и спуску отсека СА на поверхность Земли.

Структура деятельности экипажа МОК может быть описана вектором:

$$Y_d = Y_{\langle d \rangle} (A_{\langle k \rangle}^{cl}, B_{\langle l \rangle}^{up}),$$

где $A_{\langle k \rangle}^{cl}$ – определяет параметры служебной (обеспечивающей) деятельности;

$B_{\langle l \rangle}^{up}$ – определяет параметры исследовательской деятельности (выполнения целевых работ).

$$\text{В свою очередь, } A_{\langle k \rangle}^{cl} = A_{\langle k \rangle}^{cl} (Z_{\langle k_1 \rangle}^{ud}, Z_{\langle k_2 \rangle}^{ud}, Z_{\langle k_3 \rangle}^{ub}, Z_{\langle k_4 \rangle}^{up}),$$

где $Z_{\langle k_1 \rangle}^{ud}$ – определяет параметры управления движением МОК вокруг центра масс;

$Z_{\langle k_2 \rangle}^{ud}$ – определяет параметры управления движением центра масс;

$Z_{\langle k_3 \rangle}^{ub}$ – определяет параметры управления техническим состоянием бортовых

систем МОК и его конструкции;

$Z_{<k_4>}^{yp}$ – определяет параметры управления ресурсами МОК.

Аналогично для $B_{<l>}^{up}$:

$$B_{<l>}^{up} = B_{<l>}^{up}(R_{<l_1>}^r, R_{<l_2>}^b),$$

где $R_{<l_1>}^r$ – определяет параметры готовности к применению НА;

$R_{<l_2>}^b$ – определяет параметры реализации НПИ (применения НА).

Из 20 операций экипажа на МОК, рассмотренных выше, к операциям типа $Z_{<k_1>}^{yd}$ можно отнести 1 (5 %), типа $Z_{<k_2>}^{yd}$ – 6 (30 %), типа $Z_{<k_3>}^{yb}$ – 8 (40 %), типа $Z_{<k_4>}^{yp}$ – 1 (5 %). К операциям типа $B_{<l>}^{up}$ – 4 (20 %).

Основу экспериментальной базы составляли комплексы полунатурного моделирования операций ВКД, натурный имитатор планетохода, а также физический аналог робототехнической системы, управляемой космонавтом.

Методика проведения исследований включала выполнение космонавтом за 1-1,5 месяца до отправки в космос дополетных экспериментов и в первые дни после возвращения с МКС на Землю – послеполетных. В ходе экспериментов осуществлялась автоматическая регистрация параметров, необходимых для оценивания качества выполняемой космонавтами деятельности, фиксировались психофизиологические данные, осуществлялся медицинский контроль состояния здоровья, оценивались силовые возможности с помощью изокинетической динамометрии.

Обеспечение адекватности профессиональной деятельности космонавтов в экспериментах осуществлялось за счет использования штатного оборудования РС МКС (шлюзовых отсеков, скафандров, органов и пультов управления, робототехнических систем, натурного прототипа пилотируемого планетохода и др.). Кроме того, имитировались условия работы экипажа на поверхности планеты: гравитация - за счет обезвешивания человека в скафандре, гибкость скафандров, работа систем жизнеобеспечения, связи, медицинский контроль, рельеф поверхности планеты, возможные траектории движения на планетоходе и др. В состав исследуемых операций включались наиболее характерные для соответствующих видов профессиональной деятельности космонавтов на Марсе (рис. 6).



Рис. 6. Фрагмент схемы исследований с участием космонавтов РС МКС [11] (обозначение: ЭИ – экспериментальные исследования).

Ниже приведен пример ЭИ по ВКД.

На рис. 7 показана схема имитации условий ВКД. В целом же моделирование ВКД включало: оценивание возможностей управления системами скафандра (СК), отработку типовых операций ВКД, получение экспериментальных данных о качестве их выполнения. Изучаемые типовые операции содержали: операции в шлюзовом отсеке, перемещения к рабочему месту ВКД, перемещения за контейнером к модулю, установку антенны, стыковку электроразъёмов, перемещения с контейнером, операции выходного люка.



Рис. 7. Моделирование условий деятельности экипажа (на примере ВКД) [11]

Некоторые результаты моделирования ВКД показаны на [рис. 8](#).

- Средние послеполетные трудозатраты на одну операцию ВКД превышают дополетные на 24,3%**
- Средние послеполетные трудозатраты на одну операцию ВКД на рабочем месте превышают дополетные на 13,4%**
- Средние послеполетные трудозатраты на одну операцию с перемещением космонавта при ВКД превышают дополетные на 32,2%**

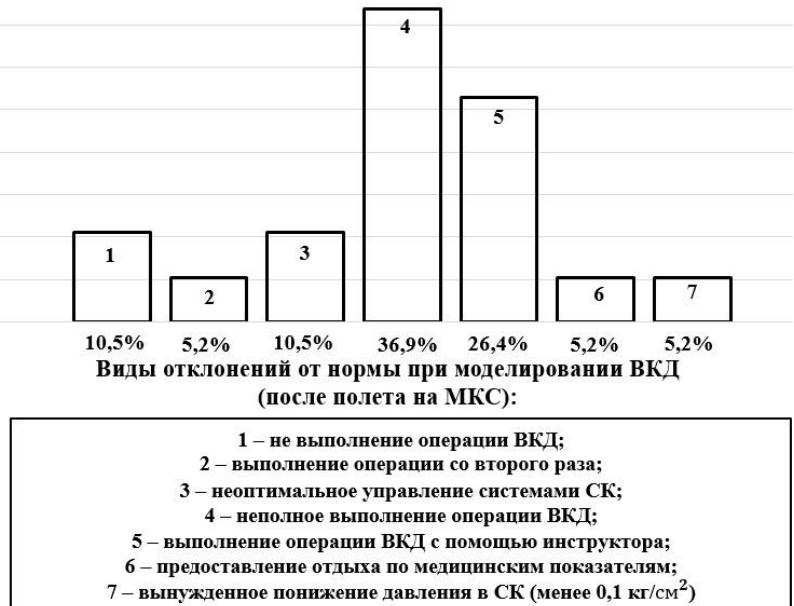


Рис. 8. Результаты экспериментов по ВКД [1].

В результате экспериментов исследованы возможные средства и способы (технологии) выполнения космонавтами ряда ключевых операций на поверхности Марса. Получены показатели качества деятельности, позволяющие оценить влияние на работоспособность космонавтов экстремальных факторов вследствие длительного пребывания в космосе [1, 2, 4, 11, 12].

Выводы и рекомендации

- Имеющиеся в отечественной космонавтике компетенции в области отбора, подготовки, формирования экипажей и осуществления их полетной деятельности, послеполетной реабилитации космонавтов, являются научно-методологической базой для разработки соответствующих технологий в интересах осуществления международной пилотируемой экспедиции на Марс.
- Принципы сотрудничества по организации пилотируемой миссии на Марс с участием России должны учитывать имеющийся положительный опыт взаимодействия с зарубежными партнерами, полученный в рамках программ «Союз-Аполлон», «Салют» и особенно «Мир» и МКС.
- Одним из первых практических шагов по осуществлению взаимодействия РФ и США по подготовке совместной миссии на Марс могла бы быть разработка и реализация «Совместной российско-американской программы экспериментальной отработки на МКС

(а также, возможно, на других пилотируемых и беспилотных космических аппаратах) ключевых задач пилотируемой экспедиции на Марс». Ее результатом должны стать конкретные технологии (способы, методы, средства, оборудование, аппаратура), обеспечивающие реализуемость миссии в планируемые сроки, технологии обеспечения живучести межпланетного комплекса, безопасности экипажа, научная программа полета.

Список литературы

1. Крючков Б. И., Харламов М. М., Долгов П. П. Профессиональная деятельность экипажей перспективных космических комплексов. М.: Космоскоп, 2024. 281 с.
2. Крючков Б. И., Куликов И. Н. О деятельности экипажей на борту Международной космической станции применительно к пилотируемым миссиям за пределами околоземных орбит // Пилотируемые полеты в космос. 2024. №4 (53). С. 5–28.
3. King P., SpaceX Starship interior concept for 20 to 40 passengers. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.humanmars.net/2021/04/spacex-starship-interior-concept-for-20.html> (дата обращения 27.09.2024).
4. Григорьев, А. И. Потапов А. Н. Медико-биологические проблемы пилотируемой экспедиции на Марс // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2014. № 1. С. 4–16.
5. Ушаков, И. Б. Космос. Радиация. Человек: (радиационный барьер в межпланетных полётах). М.: Научная книга, 2021. 348 с.
6. Старинова О. Л. Оптимизация гелиоцентрических перелётов космического аппарата с разнотипными электроракетными двигателями // О.Л. Стариная, А. А. Лобыкин, М.А. Рожнов // Космическая техника и технологии. 2023. № 1(40). С. 94–104.
7. 65 лет Центру подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. / Под ред. М. М. Харламова, Ю. М. Батурина, Б. И. Крючкова. М.: ИД Академии Жуковского. 2025. 288 с.
8. Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М.: РАКЦ им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.
9. Глобальный проект пилотируемого исследования системы Марса. Цели, требования и технологии / Под ред. Дж. Джента, Ж.-М. Салотти. Paris.: IAA, France. (русскоязычная версия), 2015. 145 с.
10. Попова Е. В., Крючков Б. И., Сорокин И. В. Технологии подготовки космонавтов для осуществления исследовательских миссий в перспективных пилотируемых программах // Космическая техника и технологии. 2023. №1(40). С.115–129.

11. Крючков Б. И., Долгов П. П. Имитационная математическая модель внекорабельной деятельности космонавтов на поверхности Марса // Пилотируемые полеты в космос. 2023. №1(46). С.61–73.
12. Харламов М. М., Крючков Б. И., Кондратьев А. С. и др. Уроки до- и послеполетных экспериментов по ручному управляемому спуску с участием космонавтов МКС // Пилотируемые полеты в космос. 2025. №1 (54). С. 43–65.
13. Управление космическими полетами. Ч.2 / Под общ. ред. Л. Н. Лысенко. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 428с.

Орлов Олег Игоревич
Доктор медицинских наук, Профессор, Академик РАН,
Директор,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Государственный научный центр Российской Федерации
«Институт медико-биологических проблем РАН» (ИМБП РАН),
г. Москва
doc@imbp.ru

Orlov Oleg Igorevich
Dr. Sei (Med.), M.S., MBA, Professor, Academician of the RAS,
Director,
Federal State Budgetary Institution of Science
The State Scientific Center of the Russian Federation
“Institute of Biomedical Problems of the RAS” (IMBP RAS),
Moscow
doc@imbp.ru

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ И НАЗЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРСИАНСКИХ МИССИЙ

APPROACHES TO THE CREATION OF A SYSTEM OF MEDICAL AND BIOLOGICAL SUPPORT FOR INTERPLANETARY SPACE FLIGHTS AND GROUND MODELING OF MARTIAN MISSIONS

Аннотация. В статье систематизирован российский опыт медико-биологического обеспечения длительных пилотируемых полетов, включая орбитальные экспедиции и наземные изоляционные исследования, как основание для подготовки межпланетных миссий к Марсу. Опираясь на результаты программ «Марс-500» и SIRIUS, представленных ИМБП РАН совместно с партнерами, анализируются ключевые риски за пределами магнитосферы Земли, автономизация медицинской помощи и систем жизнеобеспечения, роль орбитальных платформ как этапа валидации технологий, международное сотрудничество.

Abstract. This paper consolidates Russia's experience in biomedical support of long-duration human spaceflight as a foundation for Mars mission readiness, spanning orbital operations and ground-based isolation studies. Leveraging outcomes from the MARS-500 and

SIRIUS programs led by IBMP RAS with international partners, it addresses hazards beyond Earth's magnetosphere, autonomy in medical and life-support systems, the role of orbital platforms for technology validation, international cooperation.

Ключевые слова: длительные космические полеты, медико-биологические риски, изоляционные эксперименты, «Марс-500», SIRIUS, ИМБП РАН, межпланетные миссии, международное сотрудничество.

Keywords: long-duration spaceflight, biomedical risks, isolation analogs, MARS-500, SIRIUS, IBMP RAS, interplanetary missions, international cooperation.

Введение

Межпланетная экспедиция вообще и экспедиция к Марсу, в частности, имеет существенные медико-биологические риски, связанные, прежде всего, с выходом человека за пределы магнитосферы Земли. При этом появляются новые факторы риска, с которыми мы не сталкивались при пилотируемых орбитальных полетах.

Новые факторы риска

В первую очередь это радиационный риск (о нем много пишут и говорят) и гипомагнитная среда, влияние которой на организм человека практически не изучено, но может быть одним из существенных. [1] Полет за пределы магнитосферы сопряжен с влиянием галактического космического излучения и солнечных протонных событий, что требует оптимизации общей и индивидуальной пассивной защиты, операционных режимов, планирования окон активности и сценариев укрытий. Отрабатываются также фармакологические и алиментарные средства профилактики. Перспективным направлением представляется определение индивидуальной чувствительности к радиационному фактору и целенаправленное воздействие на пластичность, в частности, ткани головного мозга.

Вторая группа рисков связана с автономностью таких миссий. Вся система медико-биологического обеспечения существующих орбитальных полётов построена на парадигме возвращения экипажа на Землю в случае возникновения угрозы здоровью участников полета, что в условиях межпланетного полета на Марс невозможно. И, соответственно, должна быть разработана на других принципах, с акцентом на возможности интеллектуального телемедицинского контура самого экспедиционного комплекса. [2]

Автономность, безусловно, касается и ограничений систем обеспечения и возможности допоставки ресурсов. Необходимы системы жизнеобеспечения с элементами замкнутого цикла по ряду параметров (а в последствии – по всем параметрам, с созданием

полноценной БСЖО – биологической системы жизнеобеспечения). Это, конечно, требует новых подходов, если мы говорим не про разовые пилотируемые миссии, а об этапе освоения ближнего космоса. А если иметь ввиду создание поселений на поверхности Марса, то картина рисков разворачивается новыми гранями. [3]

Автономность межпланетного полета требует уточнения применения режимов профилактики, как в условиях перелета, так и при подготовке к высадке автономного экипажа на другую планету (Марс). Перспективным средством профилактики неблагоприятного влияния условий длительного космического полета на организм человека является искусственная гравитация. Среди доступных современных средств создания искусственной гравитации активно рассматривается возможность размещения на борту межпланетного комплекса центрифуги короткого радиуса. [4]

Остаются актуальными нейроповеденческие и психофизиологические риски, связанные с длительной изоляцией, монотонностью, задержками связи. Несмотря на достижения в продолжительности орбитальных полетов нельзя сбрасывать со счетов физиологические последствия длительного пребывания в условиях невесомости.

Преодоление рисков: опыт и перспективы

Возможно ли преодоление этих рисков или они являются непреодолимыми? На мой взгляд, возможно. Работы в этом направлении идут, как фундаментальные исследования с использованием различных биологических моделей, так и опережающие наземные модельные исследования с участием человека. Международное признание получили программы «Марс-500» и SIRIUS, реализованные специалистами ИМБП в широкой международной кооперации.

Эксперимент «Марс-500» включал три этапа (14, 105 и 520 суточные изоляции) и дал целостное представление о взаимодействии физиологических, поведенческих и организационных факторов длительной автономии, включая «посадочные» и «маршевые» операции. Важным результатом стала проверка регламентов мониторинга, сна и циркадной гигиены, нагрузок и распределения ролей, а также отработка процедур медицинской помощи в условиях ограниченной связи и ресурсов. [5] На этом фундаменте строилась дальнейшая эволюция задач в SIRIUS. SIRIUS реализуется ИМБП РАН совместно с NASA HRP и международными партнерами, программно охватывая изоляции от недель до 12 месяцев, с задачами оценки автономии, взаимодействия и медицинских возможностей экипажа. Программа SIRIUS включает интеграцию исследований по психологии, физиологии, телемедицине и человеческим факторам. [6]

Следующий важный шаг – отработка перспективных технологий в орбитальных полетах, прежде чем они могут быть предложены и организованы для межпланетных миссий. [7]

Орбитальные длительные полеты служат полигоном для отработки режимов труда и отдыха, мониторинга радиации и микробиологии, а также для тестирования телемедицинских цепочек и контрмер в реальной эксплуатационной среде. Связка «орбита — наземная изоляция — экспедиция» позволяет циклически улучшать процедуры, аппаратные средства и обучение, снижая неопределенности перед миссией к Марсу.

Развитие международного сотрудничества

Не стоит противопоставлять марсианскую тему теме перспективной Российской орбитальной станции, поскольку одним из её возможных назначений является в т.ч. то, что она должна стать платформой для отработки технологий для межпланетных полетов и развития международного сотрудничества по этому направлению.

Относительно международного сотрудничества необходимо отметить, что космонавтика в целом и медико-биологические аспекты обеспечения пилотируемых полетов, в частности, всегда вызывали общий интерес к сотрудничеству и у наших зарубежных партнеров, и у отечественных специалистов. Контакты в этой области всегда служили мостом в научной дипломатии, позволявшим сохранять взаимодействие в разных политических условиях. Это справедливо и для текущего политического момента. Более того, взаимодействие в области космической медицины может стать одной из точек роста для перспективного восстановления полномасштабного международного научно-технического сотрудничества.

Что касается международного характера марсианской космической миссии, то надо задуматься о той роли и месте, которые в этой космической миссии могут быть предложены России. Примеры недавнего прошлого по программе Артемис всем хорошо известны.

Заключение

Очевидно, что у России должна быть своя национальная стратегия развития пилотируемой космонавтики. Должна быть дорожная карта опережающей разработки технологий, которые должны обеспечить реализацию этой стратегии. По этой стратегии и по этим технологиям, конечно, мы можем и должны кооперироваться с иностранными партнёрами, но руководствоваться при этом прежде всего национальными интересами.

Список литературы

1. Космическая медицина и биология: Сборник научных статей / Под ред. А. И. Григорьева, И. Б. Ушакова. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2013. 684 с.
2. *Григорьев А.И., Орлов О. И., Потапов А. Н.* Космические разработки системы телемедицинского обеспечения марсианской экспедиции // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2005. Т. 39. № 4. С. 19-24.
3. *Сычев В. Н., Гурьева Т. С., Левинских М. А., Подольский И. Г.* Биологические системы жизнеобеспечения человека: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2023. 200 с.
4. *Орлов О. И., Колотева М. И.* Центрифуга короткого радиуса как новое средства профилактики неблагоприятных эффектов невесомости и перспективные планы по разработке проблемы искусственной силы тяжести применительно к межпланетным полетам // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 7. С. 11-18.
5. Международный симпозиум по результатам экспериментов, моделирующих пилотируемый полет на Марс (Марс-500): сборник материалов. М.: Воронеж: Научная книга, 2012. 126 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://mars500.imbp.ru/files/Mars500%20symposium%20-%20Abstracts%20book%20\(rus+eng\).pdf](http://mars500.imbp.ru/files/Mars500%20symposium%20-%20Abstracts%20book%20(rus+eng).pdf) (дата обращения: 06.10.2025).
6. SIRIUS – МКС – ЛУНА – МАРС. Основные результаты проекта SIRIUS. XIX Конференция по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием. М: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2025. 270 с.
7. Медико-биологические эксперименты на борту российского сегмента Международной космической станции / под ред. академика О. И. Орлова. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2021. 232 с.

Ушаков Игорь Борисович
Доктор медицинских наук, Профессор, Академик РАН,
главный научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна»
Федерального медико-биологического агентства
г. Москва
iushakov@fmbcfmba.ru

Ushakov Igor Borisovich
Doctor of medicine, Professor, Academician of the RAS,
Chief Researcher,
Federal State Budgetary Institution
The State Scientific Center of the Russian Federation
“State Research Center Russian Federation –
A. I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center”
of Federal Medical Biological Agency
Moscow
iushakov@fmbcfmba.ru

ГЛАВНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПОЛЕТЕ

THE MAIN SPACE BARRIERS FOR HUMANS IN INTERPLANETARY FLIGHT

Аннотация. Сегодня остро необходима всеобъемлющая концепция преодоления космических барьеров для человека в межпланетном полете и особенно новой системы радиационной безопасности в таких уникальных экстремальных условиях. В ней необходимо будет учесть все вероятные ближайшие и отдаленные последствия воздействия наиболее опасных для человека факторов космоса. Отдельно должны быть верифицированы возможные нарушения с учетом комбинированного действия других факторов полета, включая токсико-пылевой фактор и гипомагнитную среду в межпланетном полете. Необходимо учесть риск «полностью неизбежаемых» радиационных угроз. Новую концепцию радиационной безопасности можно назвать «концепцией выбора меньшей суммы вреда» от облучения. Принцип ALARA в ней, конечно, не отменяется, но

ставится на грань возможности его соблюдения. Концепция должна предусмотреть применение всего арсенала современных и перспективных средств защиты (радиопротекторы, радиомитигаторы, радиомодуляторы, гибернация, гипометаболические средства, искусственное магнитное поле и т. д.). В экипаже дальнего космического полета обязательно должен быть врач, специализирующийся в области радиационной медицины и медицинской радиобиологии. В бортовой аптечке необходимо иметь средства, которые будут являться некой современной к моменту полета «суммой радиобиологии». Экипаж должен быть подобран из наиболее радиоустойчивых космонавтов (по гено- и фенотипическим критериям).

Abstract. Today, there is an urgent need for a comprehensive concept for overcoming space barriers in interplanetary flight, and especially for a new radiation safety system in such unique extreme conditions. It should take into account all the likely immediate and long-term exposure consequences of the most dangerous space factors for humans. Possible violations should be verified particularly, taking into account the combined effect of other flight factors, including the toxic-dust factor and the hypomagnetic environment in interplanetary flight. It is necessary to take into account the risk of “completely unavoidable” radiation threats. The new concept of radiation safety can be called the “concept of choosing the least amount of harm” from exposure. The ALARA principle, of course, is not abolished, but it is put on the verge of the possibility of its compliance. The concept should consider the use of the entire arsenal of modern and prospective promising equipment (radioprotectors, radiomigulators, radio modulators, hibernation, hypometabolic means, artificial magnetic field, etc.). The deep space flight crew should include a doctor specializing in radiation medicine and medical radiobiology. In the on-board first-aid kit, it is necessary to have protection means that will be up-to-date (at the time of flight) a certain “the sum of radiobiology”. The crew should be selected from the most radiation-resistant astronauts (according to genetic and phenotypic criteria).

Ключевые слова: космические барьеры, космическая радиация, солнечные космические лучи, галактические космические лучи, тяжелые заряженные частицы, межпланетные полёты, радиозащитные средства, гипомагнитные условия, гипогравитация, психофизиология автономного полета.

Keywords: space barriers, cosmic radiation, solar cosmic rays, galactic cosmic rays, heavy charged particles, interplanetary flights, radioprotection, hypomagnetic conditions, hypogravity, psychophysiology of autonomous flight.

Введение

Полет Ю. А. Гагарина укрепил в землянах вековые мечты о путешествиях на другие

планеты. Человечество все ближе к межпланетной пилотируемой космонавтике. Рано или поздно такие полеты состоятся. Совсем не зря 6 февраля 2025 года в Кремле прозвучал только на первый взгляд необычный вопрос Президента страны, обращенный к молодым ученым: «Скажите, сегодняшние современные радиационно-защитные композиты – они позволяют, скажем, коровам долететь до Марса и вернуться? Или зайчикам, или кошкам, или собакам?» Это был важный сигнал современной космической науке!

Многолетний опыт околоземных пилотируемых полётов позволил получить фундаментальные и прикладные знания о влиянии многочисленных факторов космического пространства на организм человека. Успешно решена задача обеспечения высокой работоспособности космонавтов в ходе длительных орбитальных полётов, разработаны меры по предотвращению неблагоприятных последствий космического полёта и восстановлению здоровья в послеполётный период.

В будущих межпланетных полетах экипаж будет подвергаться комбинированному воздействию одновременно или последовательно действующих многочисленных факторов: общие условия экспедиции (большая продолжительность, автономность, задержки и перерывы информационного обмена с Землей); факторы замкнутой среды обитания (ограниченное жизненное пространство, присутствие в атмосфере токсических веществ, повышенная микробная обсемененность среды, шум); психофизиологические факторы (социальная изоляция, отрыв от привычной земной жизни, высокие психоэмоциональные нагрузки, ответственная операторская деятельность, внутригрупповое и межгрупповое взаимодействие, деятельность в составе международного экипажа); физические факторы межпланетного пространства (высокие уровни космической радиации, гипомагнитные условия, метеоритная опасность); динамические факторы межпланетного полета (невесомость или микрогравитация, перегрузки при взлетах, посадках и маневрах); условия пребывания на Луне и Марсе – гипогравитация 0,16 и 0,38 g, высокие уровни ионизирующей радиации, гипомагнитная среда, низкие температуры со значительными суточными и сезонными колебаниями, низкое атмосферное давление, высокое содержание в атмосфере CO₂, низкое содержание O₂, пылевые бури и их токсикологические и другие аспекты, сильные ветры, возможность встречи с экзобиологическими проблемами.

Сложность дальнейшего изучения состоит в беспрецедентной комбинированности космических воздействий, происходящих на фоне постоянного информационного стресса человека-оператора (рис. 1).



Рис. 1. Основные группы факторов и главные физиологические системы, участвующие в реализации их влияния.

Главные космические барьеры

В такой гуще значимых для человека факторов можно выделить все же 5 основных ведущих факторов или их комбинаций, которые могут обладать силой непреодолимого барьера из-за выраженного влияния на человека в полете: радиационный, токсико-пылевой, гипомагнитный, гипогравитационный и психофизиологический. Их изучением занимается с 1949 года космическая медицина и биология – область наук о жизни, в частности, жизни вне Земли. Основные ее итоги за три четверти века состоят в следующем:

- накоплен значительный объем научной информации о влиянии факторов космического полета и космического пространства на живые системы различных уровней онто- и филогенетического развития;
- создана система медицинского обеспечения полетов человека в космос, обеспечившая сохранение здоровья и поддержание работоспособности экипажей в полетах продолжительностью до 12-14 месяцев и общей жизнью в космосе до 3 лет (в нескольких полетах);
- накопление новых знаний происходит тремя путями: исследования на космических кораблях и станциях; биологические исследования на спутниках с экстраполяцией к человеку; наземное моделирование факторов полета у человека и животных.

Можно утверждать, что сегодня исследователи стоят на пороге новой космической биомедицины – биомедицины межпланетных полетов. Главными ее научными разделами будут космическая радиационная биология и психофизиология автономности.

Радиационный барьер в космосе и его основные характеристики

Первый серьезный барьер, всегда внушавший опасения ученым – радиационный. Источники космической радиации (КР) многообразны [1]. Они включают радиационные пояса Земли (РПЗ), это в основном протоны и электроны с коэффициентом качества (КК) от 1.5 до 2.5. Далее стохастический источник – солнечные космические лучи (СКЛ), также в основном протоны до 1000 МэВ с КК до 2.0. И третья важнейшая и постоянно действующая компонента – галактические космические лучи (ГКЛ), в состав которых входят ускоренные ионы от водорода и гелия и далее практически всей периодической таблицы химических элементов с высокими величинами КК – до 5 и выше. Очень много зависит от локализации организма в космическом пространстве и периоде солнечной активности. Есть и четвертая компонента КР – нейтронное и гамма-лучи – вторичные излучения, возникающие в ядерных взаимодействиях первичного космического излучения с веществом космического аппарата и биологической тканью, или в случае наличия на борту ядерно-энергетических и каких-либо других радиоизотопных установок (до 30 % общей дозы).

Адекватно смоделировать такой непростой космический «радиационный коктейль» в наземном эксперименте невозможно. Поэтому изучать биологическое действие КР исследователям приходится «по частям», составляя потом из них общую картину радиационного поражения в космосе. Таким образом, работает сложный радиобиологический принцип – «изучать излучения отдельно, оценивать эффект в комплексе».

Радиобиология и космическая радиобиология невозможны без своего главного понятия – ДОЗА (таблица). Описывать влияние радиации на организм без конкретных цифр недопустимо. Упомянем только главные, реперные величины. Доза на борту МКС в 200 раз превышает таковую на Земле. За годовой полет это уже до 300 мЗв, а профессиональный предел космонавта, как и персонала группы А – 1000 мЗв. Для межпланетных условий важна величина 1,4 мЗв на Луне (примерно в 600 раз выше, чем на Земле) и чуть больше в полете к Марсу – 1,8 мЗв.

Таблица. Радиационный барьер в космосе [1, 8, 9].

Период экспонирования	Доза, мЗв
Фоновая доза на поверхности Земли за сутки	0.0025
Доза на борту космической станции за сутки	0.3-0.8
Внекорабельная деятельность (за один выход)	0.3-0.5
Доза за год в космическом полете = 0.5×365	110-290
Доза на Лунной поверхности за сутки	1.4
Доза на Марсе (в ходе полета) за сутки	0.7 (1.8)
Основной дозовый предел за 1 год полета	300**
Дозовый предел за 1 год для персонала группы А на Земле	20*
Доза за рентгеновский снимок грудной клетки (ЭД)	0.1
Профессиональный предел дозы, космонавта/персонала группы А (эффективная доза)	1000**

* Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

** Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах (ООКОКП-2021) МР ФМБА 17.01-2021

Перейдем к оценке возможных медико-биологических эффектов облучения у человека. Изолированный вклад только радиационного фактора, конечно, выделить очень сложно. Глобальный и самый главный показатель – смертность – пока не выявил достоверного влияния космических полетов на здоровье человека, в т.ч. и по онкологическим заболеваниям. Результат получен независимо в российских и американских эпидемиологических исследованиях. Риск смерти в когорте космонавтов оказался достоверно ниже по сравнению с референтной группой. Российский космонавт Олег Кононенко, находясь в космосе уже 3 года, установил абсолютный мировой рекорд, а в пересчете на КР он «прожил в космосе 600 лет»!

Возможные радиационные эффекты в дальнем космосе включают: ближайшие – острая лучевая болезнь (при выраженных солнечных протонных событиях), нарушения в центральной нервной системе (ЦНС), повреждение органа зрения (сетчатка); отдаленные – радиационный канцерогенез, поражение ЦНС, катрактогенез, нарушение репродуктивной функции, а также ускоренное биологическое старение органов и систем. Они изучаются в

наземных радиобиологических экспериментах на грызунах и приматах. Приматы – наиболее адекватный объект для исследования ЦНС в лабораторных условиях, что обусловлено наибольшей близостью их к человеку по основным нейрофизиологическим характеристикам: строению головного мозга, эмоциональной и мотивационной системам, анализаторным системам, когнитивным возможностям, манипуляционным способностям. Чаще в качестве объекта для моделирования элементов операторской деятельности выбираются макаки-резусы (*Macaca mulatta*).

Особенности будущих дальних длительных космических полетов включают: риск радиационного поражения мозга за счет воздействия КР, комбинированное влияние радиации и других факторов полета – невесомость, гипомагнитная и измененная газовая среда, шум, вибрация, ЭМИ, гипертермия и значительный комплекс психофизиологических факторов, связанных с длительностью и автономностью полета.

Отсюда вытекает и проблематика современных радиобиологических исследований. Прежде всего изучаются эффекты хронических, квазихронических и фракционированных длительных облучений. Во-вторых, продолжает исследоваться специфика нарушений от тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ). Это направление широко представлено в работах лабораторий Объединенного Института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне. Третье – комбинированные модифицирующие эффекты других факторов космоса, и прежде всего невесомости. Далее – разработка новых поведенческих методик, примитивных аналогов операторской деятельности космонавта. Большинство исследователей так или иначе изучают механизмы нарушений ЦНС на всех уровнях интеграции. И, наконец, так же почти все радиобиологи сталкиваются с проблемой экстраполяции своих экспериментальных данных на человека. Это ответственный финальный этап таких работ. Здесь заложены и самые большие количественные ошибки в оценке общего радиационного эффекта.

Таким образом, нейrorадиобиологические исследования с учетом оригинальной специфики КР закономерно превалируют сегодня в космической радиобиологии. Это и понятно. Человек в космосе должен сохранять работоспособность до окончания полета [1].

Адекватным примером является проект «Гамма-брз», выполненный в ИМБП РАН (2008-2010), в котором моделировалось на приматах облучение экипажа во время марсианской экспедиции. Эксперимент проводился параллельно с Международным научным экспериментом с испытателями, находящимися в 105- и 520-суточной изоляции – проект «Марс-500» (2009-2011 гг.). Длительный эксперимент проведен для расчета радиационного риска гибели и снижения работоспособности после острого облучения (модель СКЛ) на фоне хронического облучения (модель воздействия ГКЛ). В этих

экспериментах при сравнительно невысоких дозах протяженного облучения (130-250 сГр) существенно снижалась поведенческая операторская активность обезьян.

Определенные, хотя и весьма ограниченные сведения по действию КР могут быть получены в полетах биоспутников с различными биологическими видами на борту. Например, рекордный по длительности полет космического аппарата «Бион-М» № 1 (19.04–19.05.2013 г.), имевший цель комплексной оценки влияния невесомости и радиации на структурные и функциональные реакции животных с использованием методов исследований на клеточном, молекулярном и системном уровнях организации живого. Изучались эффекты воздействия на живые системы в условиях открытого космического пространства и внутри космического аппарата. Полет «Биона-М» № 2 с большими дозами КР планируется в текущем году.

Мозг – ведущий критический орган в концепции радиационного барьера для межпланетной космонавтики

Итак, ЦНС обладает безусловно высокой чувствительностью к радиационному фактору в малых дозах. Изменения неспецифичны, протекают волнообразно и не имеют линейной дозовой или временной зависимости. Они есть и в контроле и различаются с опытом лишь процентным соотношением. Практически все изучаемые показатели были более лабильными при самой малой исследуемой дозе 10 сГр, что вероятно свидетельствует о «раздражающем» эффекте малых доз ионизирующего излучения применительно к мозгу. Яркий пример радиочувствительности – космический радиофосфен.

Нарушения от воздействия тяжелых ионов даже в малых дозах развиваются и усиливаются во времени. При облучении ионами ^{12}C (1 Гр, 160 МэВ), обладающими меньшей относительной биологической эффективностью, чем ^{56}Fe , в более ранние сроки, чем при гамма-облучении, происходят существенные изменения в обмене моноаминов в мозге, причем наиболее чувствительными структурами являются префронтальная кора, nucleus accumbens (прилежащее ядро) и гиппокамп. Эти структуры ЦНС отвечают за когнитивную деятельность организма. Эффекты воздействия высокоэнергетических протонов (165 МэВ) в аналогичных дозах (1.5 – 3 Гр) практически аналогичны эффектам гамма-излучений и могут быть оценены как незначительные. Это направление является также приоритетным в мировой косморадиобиологической литературе.

Планы реализации межпланетных полётов ставят в число наиболее актуальных проблем оценку радиационного риска влияния на организм космонавтов галактических ТЗЧ с учетом особенностей их биологического действия. Эти исследования наиболее фундаментально представлены в ОИЯИ и проводятся под руководством члена РАН

Е. А. Красавина [2-4].

Как уже отмечалось ранее, в интегральном потоке ГКЛ наиболее представлены ядра различных групп элементов с энергиями в диапазоне 300—500 МэВ/нуклон. Следует заметить, что пробег частиц с такой энергией в биологических тканях весьма велик. Например, пробег ускоренных ядер углерода с энергией 300 МэВ/нуклон в тканях организма составляет около 20 см. Особенность передачи энергии ТЗЧ такова, что в отличие от действия электромагнитных видов излучений максимальное количество энергии передается веществу в конце пробега частицы (в пике Брэгга). При этом распределение энергии, передаваемой частицами веществу, принципиально отличается от электромагнитных видов ионизирующих излучений (рентгеновское, гамма-кванты). В случае облучения гамма-квантами поглощенная доза передается объему вещества в результате случайно распределенных многочисленных актов передачи энергии малыми порциями. Важно, что та же доза облучения может быть передана тому же объему вещества при прохождении через него всего одной ТЗЧ (например, железа).

Специфика передачи энергии ТЗЧ биологическим структурам обуславливает характер и особенности проявления различных радиационно-индуцированных эффектов облучения многозарядными ионами. Изучение закономерностей летального действия заряженных частиц на клетки с различным уровнем организации генетического аппарата в экспериментах на ускорителях позволило выявить природу различий в биологической эффективности ионизирующих излучений электромагнитной природы и ускоренных многозарядных ионов. Исследования на клетках млекопитающих и человека показали, что с увеличением ЛПЭ частиц их биологическая эффективность повышается и коэффициенты ОБЭ достигают значений, равных 3—5 и более. Было показано, что различия в биологической эффективности гамма-квантов и тяжелых ионов по их летальному действию на микроорганизмы и клетки животных определяются двумя факторами различной природы: физическими характеристиками излучений и биологическими свойствами самих клеток — их способностью восстанавливаться от лучевых повреждений [2]. Высокая биологическая эффективность ТЗЧ также была установлена по мутагенному, канцерогенному и катарактогенному влияниям в экспериментах на животных, облученных на ускорителях тяжелых многозарядных ионов.

Таким образом, результаты исследований биологического действия ТЗЧ на генетический аппарат клеток свидетельствуют о высокой опасности тяжелых ядер ГКЛ для экипажей кораблей при осуществлении межпланетного полета. С учетом высокой биологической эффективности ТЗЧ представляется важным анализ их действия на структуры и функции ЦНС. Как указывалось, выше, в случае гамма-облучения реакции

ЦНС возникают как в результате их прямого действия на нервную систему, так и косвенного, вследствие радиационного повреждения других систем организма. Многочисленные данные свидетельствуют о высокой радиочувствительности определенных отделов ЦНС уже при действии малых доз облучения, о чем уже упоминалось. Эти нарушения могут быть выявлены как на молекулярном и клеточном, так и на уровне общих поведенческих реакций.

В отличие от ионизирующих излучений электромагнитной природы механизмы передачи энергии ТЗЧ веществу таковы, что в микро- и нано-объемах вещества выделяется большая энергия, обуславливающая повреждения структур клеток, в т.ч. и в первую очередь их генетического аппарата. Единичный трек высокоэнергетичного тяжелого иона ГКЛ при прохождении через различные ткани организма может одновременно повредить несколько тысяч клеток. Зрелая нервная ткань, в основном статичная в постмитотическом состоянии, оказывается критической мишенью для такого типа радиационного воздействия. Среди структур мозга нейроны гиппокампа оказываются наиболее чувствительной мишенью к повреждающему действию ТЗЧ. Почему действие таких частиц именно на гиппокамп особенно опасно? Это связано с тем, что в одном из отделов гиппокампа, именуемом зубчатой фасцией, происходит постоянное образование новых нервных клеток — нейрогенез. Подавляющее большинство нейронов взрослого мозга — это высокодифференцированные клетки, уже не способные к делению и потому достаточно устойчивые к радиации. Однако клетки, сохранившие способность к делению, исключительно уязвимы к действию излучений. Клетки зубчатой фасции гиппокампа относятся именно к таким клеткам. Как теперь твердо установлено, именно гиппокамп, сохранивший способность к нейрогенезу, играет ключевую роль в формировании «краткосрочной» и «долговременной» памяти, а также в интеграции получаемой мозгом информации и в распределении ее в высших отделах мозга.

По оценкам специалистов NASA, вне магнитосферы Земли квадратный сантиметр площади пересекает в сутки примерно 160 ТЗЧ с $Z > 20$. Это означает, что в открытом космосе ткани ЦНС будут пересекаться таким значительным количеством высокоэнергетических тяжелых ядер. Согласно расчетам [5] в ходе пилотируемого трехлетнего межпланетного полета, от 7 до 13 % нейронов ЦНС могут подвергнуться воздействию высокоэнергетических ионов железа и до 46 % нейронов — воздействию частиц с $Z > 15$. Примерно 20 миллионов нервных клеток, входящих в структуры гиппокампа, будут пересекаться одной и более частиц с $Z > 15$. Последствия такого воздействия могут оказаться на дисфункции ЦНС, проявляемой на различных уровнях: молекулярном, клеточном, тканевом, поведенческом.

Экспериментально показано, что при облучении головного мозга животных на ускорителях тяжелых ионов спустя один месяц после облучения высокоэнергетичные ионы железа в дозе 1,5 Гр вызывают различного рода нарушения поведенческих и когнитивных функций [6]. В другой важной работе [7] изучен процесс синаптической передачи в нейронах гиппокампа и нарушение поведенческих функций у животных при малых дозах облучения ионами железа (20—60 сГр) с энергией 1 ГэВ/нуклон. Дозы облучения были выбраны в соответствии с реальными потоками ТЗЧ, действию которых могут подвергаться экипажи при осуществлении полета к Марсу (105—106 част./см²). Через 3 месяца после облучения с использованием специального эксперимента (тест Барнс) изучались поведенческие реакции контрольных и облученных животных. После воздействия ТЗЧ были выявлены выраженные нарушения пространственной ориентации у всех облученных животных. Коэффициент ОБЭ, вычисленный на основании полученных результатов, составил ~ 50. В то же время при облучении головного мозга животных рентгеновскими лучами в дозах более 10 Гр, изменений поведенческих реакций выявлено не было. По мнению авторов, снижение когнитивных способностей у животных, облученных ионами железа, обусловлено не только гибелью нейронов, но и повреждением механизмов синаптической передачи, что в совокупности обуславливает нарушение интегративной целостности гиппокампа.

С учетом высокой чувствительности структур ЦНС к действию высокоэнергетических заряженных частиц Е. А. Красавиным с коллегами был предложен [3] новый подход к оценке риска ближайших эффектов облучения, в частности, функциональных мозга у членов экипажей в ходе межпланетных полётов. С учётом этого в систему оценки рисков было предложено ввести понятие «вероятности успешного выполнения миссии» (P), которая в общем виде может быть определена следующим образом:

$$P = 1 - (P_{\text{р.п.}} + P_{\text{н.р.п.}} + P_{\text{о.т.}}),$$

где: $P_{\text{р.п.}}$ – вероятность возникновения радиационных поражений; $P_{\text{н.р.п.}}$ – вероятность возникновения нерадиационных нарушений, возникающих под влиянием факторов космического полёта (воздействие невесомости, замкнутого пространства, психологические факторы, заболевания, травмы и т. д.); $P_{\text{о.т.}}$ – вероятность отказа технических устройств. Вероятность же возникновения радиационных поражений может слагаться из компонентов выражения:

$$P_{\text{р.п.}} = P_{\text{ЦНС}} + P_{\text{б.э.о.}} + P_{\text{о.э.о.}},$$

где: $P_{\text{ЦНС}}$ – вероятность нарушения функций ЦНС, $P_{\text{б.э.о.}}$ – вероятность возникновения

ближайших эффектов облучения (нарушение костномозгового кроветворения, повреждение кожных покровов, других органов и тканей организма вследствие интенсивного облучения протонами в результате солнечных вспышек); Р_{о.э.о.} – вероятность возникновения отдалённых эффектов облучения (онкологические заболевания, формирование радиационной катаракты и др.).

Учитывая изложенное, в целом при планировании дальнейших экспериментальных работ по моделированию биологического действия КР, проведении оценок риска их повреждающего действия в условиях межпланетных полетов необходимы тщательные исследования нейрорадиобиологических эффектов действия ТЗЧ. Следует ещё раз подчеркнуть огромную сложность решения этой комплексной проблемы космической радиобиологии. Её многогранность обусловливается многими факторами физической и биологической природы: уникальными по характеру физических свойств воздействующих на организм излучений (широкий диапазон зарядовых и энергетических спектров частиц ГКЛ), вовлеченность различных систем организма в реализацию радиационных поражений. Решение этих проблем (особенно ОБЭ для ГКЛ) является насущной задачей современной космической радиобиологии в ближайшей перспективе [8].

Пределы облучения человека в космосе, средства отбора в дальний полет, технологии защиты и профилактики

Важнейшим для дальнейшего проникновения человека в космос является обоснование разумных пределов облучения космонавтов. Трудности этого направления заключаются, как в дозиметрии КР, так и в упоминавшемся триедином характере состава КР. Нормирование излучений с высокими значениями ЛПЭ и ОБЭ, широкий диапазон мощностей доз протонов и перепады дозы по телу космонавта от 2 до 20 раз, представляет значительную проблему. Были определены зависимости радиационного риска от величины обобщенной дозы в течение всей жизни для космонавтов России, астронавтов США, Японии. Они независимо оказались очень близкими. В 2021 г. в России появился, наконец, новый нормативный документ, утвержденный Роскосмосом и ФМБА [9]. В этом документе предел дозы за год снижен с 500 до 300 мЗв. Это самый малый годовой предел в мире. Примечательно, что в настоящее время на МКС на высотах среднетканевая доза на костный мозг может достигать 230 мЗв. Пределы КР на хрусталик и кожу в новом документе также снижены и приведены в соответствие с НРБ-2009.

Понятие радиорезистентности – ключевое в разработке медико-биологических

средств профилактики и защиты от КР [10]. В общей структуре направлений повышения радиорезистентности космонавтов в дальнем космосе учтено многое, но в будущем предстоит приложить немало усилий для доработки большинства элементов. К сожалению, противорадиационный модуль бортовой аптечки пока не разработан. Отсутствуют радиопротекторы для ТЗЧ и для хронических облучений, не предусмотрены средства ранней терапии на случай переоблучения от СКЛ. Пока не созданы и эффективные средства профилактики и лечения возможных радиационных нарушений ЦНС, а также профилактики актуальных для космоса опухолей.

Существенно, что противоволучевые средства в космосе ни при каких условиях не должны вызывать побочных реакций, снижать работоспособность человека, не должны влиять на координацию движений и остроту зрения, нарушать иммунитет и снижать устойчивость организма к экстремальным факторам.

В будущую бортовую аптечку необходимо ввести отечественный радиопротектор экстренного действия препарат Б-190 (индралин), эффективный при гамма-, гамма-нейтронном и протонном облучениях. Его противоволучевой эффект установлен на 6 видах животных, включая крупных (собаки, обезьяны). Благодаря работам профессора М. В. Васина и академика Л. А. Ильина эффективность протектора проверена в Чернобыле у лётчиков-ликвидаторов последствий аварии [11]. Препарат Б-190 не снижает способность человека к динамической работе, статическую выносливость, сенсомоторные реакции, не провоцирует тремор покоя и движения, не оказывает негативного влияния на качество пилотирования у летчиков.

В дальнем длительном космическом полете возможно развитие постлучевых вторичных иммунодефицитов с нарушением иммуно- и гемопоэз-регуляторных функций. Поэтому потребуются антибактериальные и противовирусные препараты, а также иммуноглобулины, лактоферрин и пробиотики. Важными элементами профилактики и раннего лечения лучевой болезни могут стать адаптогены, вакцины и цитокины (беталякин и т. п.). Необходимы будут банки клеток и тканей на случай аварийного переоблучения (кровь, костный мозг, клетки кожи, половых желез, слизистой десны).

Можно обоснованно полагать, что сочетанное применение противоволучевых средств защиты и антибиотико- и патогенетической терапии цитокинами при возникновении СПС событий может существенно снизить риск тяжелых форм радиационного поражения с предварительной оценкой по ФУД, близкому к 1,5–2,0.

В полетном сопровождении целесообразно активировать естественные пути самозащиты организма, используя следующие субстанции: омега-ненасыщенные кислоты, биофлавоноиды, кверцетин, меланины, L-селенометионин, мелатонин, глютатион,

аскорбиновая кислота, препараты рибоксина, аминотетравит, тетрафолевит и др. [1]. Перспективна и разработка соответствующих диет и напитков, обеспечивающих оптимизацию минерально-витаминного баланса организма космонавта.

Учитывая возможность прямого повреждения клеток ЦНС тяжелыми ионами, необходима разработка соответствующей экспериментальной модели и испытание в этих условиях лекарственных препаратов, хорошо зарекомендовавших себя при лечении инсультов и других поражений ЦНС, например, из группы ноотропных средств, а в отдельных случаях и специальных диет и водно-питьевых режимов, обеспечивающих постоянное поступление экзогенных средств повышения радиорезистентности: антиоксидантов, адаптогенов, витаминов, минералов и др. Разработанные для наземных условий стандарты лечения лучевой болезни должны быть адаптированы для условий межпланетного космического полета. Анализируя возможности профилактики отдаленных последствий лучевого поражения, можно предположить, что длительный прием антиоксидантов, а также ряда препаратов, обладающих антимутагенным действием, обеспечит снижение риска индуцирования и развития онкологических заболеваний.

Признанным профилактическим средством в отношении радиационных катаракт являются капли «Тауфон» на основе таурина. Определенные перспективы связываются с возможностью использования для профилактики радиационного катарактогенеза легкоизотопной воды со сниженным содержанием тяжелого изотопа водорода –дейтерия.

Известно радиационное угнетение сперматогенеза млекопитающих, однако наличие нарушений репродуктивной активности у космонавтов пока не описано, по-видимому, в силу этических причин. Целесообразно уделить этой проблеме большее внимание и провести ее серьезное экспериментальное изучение.

Резюмируя это важное направление работ, следует отметить, что вариантов облучения в дальнем космосе столь много, что единственного эффективного радиозащитного средства просто не существует в принципе, что упор в поиске новых средств следует сделать на радиомодуляторы и радиомитигаторы, усиливающие репаративные постлучевые процессы. В экипаже длительного полёта обязательно должен быть врач-радиобиолог или радиолог, а в бортовой аптечке необходимы средства всей «суммы радиобиологии» на время реального полета. История разработки технологий защиты людей от радиации в космосе должна пополниться оригинальными идеями, возможно даже, ранее не встречавшимися [12].

Безусловно необходимо решить первоочередные задачи по радиационной защите в космосе и будущим научным исследованиям в этой области. Срочно необходимо создание медико-дозиметрического регистра космонавтов РФ для углубленного решения многих

проблем в оценке радиационных рисков, нормировании и радиационной защите. Предстоит научиться разными методами, обязательно включая биологические, прогнозировать радиозащитные (радиомодифицирующие) свойства конструкционных материалов для предотвращения поражающего эффекта космического корпускулярного излучения. Необходимы реальные биологические эксперименты в смешанных полях протонного, нейтронного и фотонного излучений, в т.ч. в условиях воздействия модифицированного магнитного поля.

Для межпланетных полетов нужны новые технологии дополнительного отбора космонавтов (рис. 2), обладающих повышенной радиорезистентностью, основанные на оценке, например, двунитевых разрывов ДНК, а также надежных фенотипических показателей резистентности. Примерный алгоритм создания таких технологий показан на схеме (Осипов А. Н., 2012, 2018) [10]: клетки из биоптата или крови подвергаются тестирующему облучению, в идеале – КР, затем анализируются молекулярно-генетические и клеточные реакции и проводится итоговое биоинформационное выделение радиорезистентных людей.

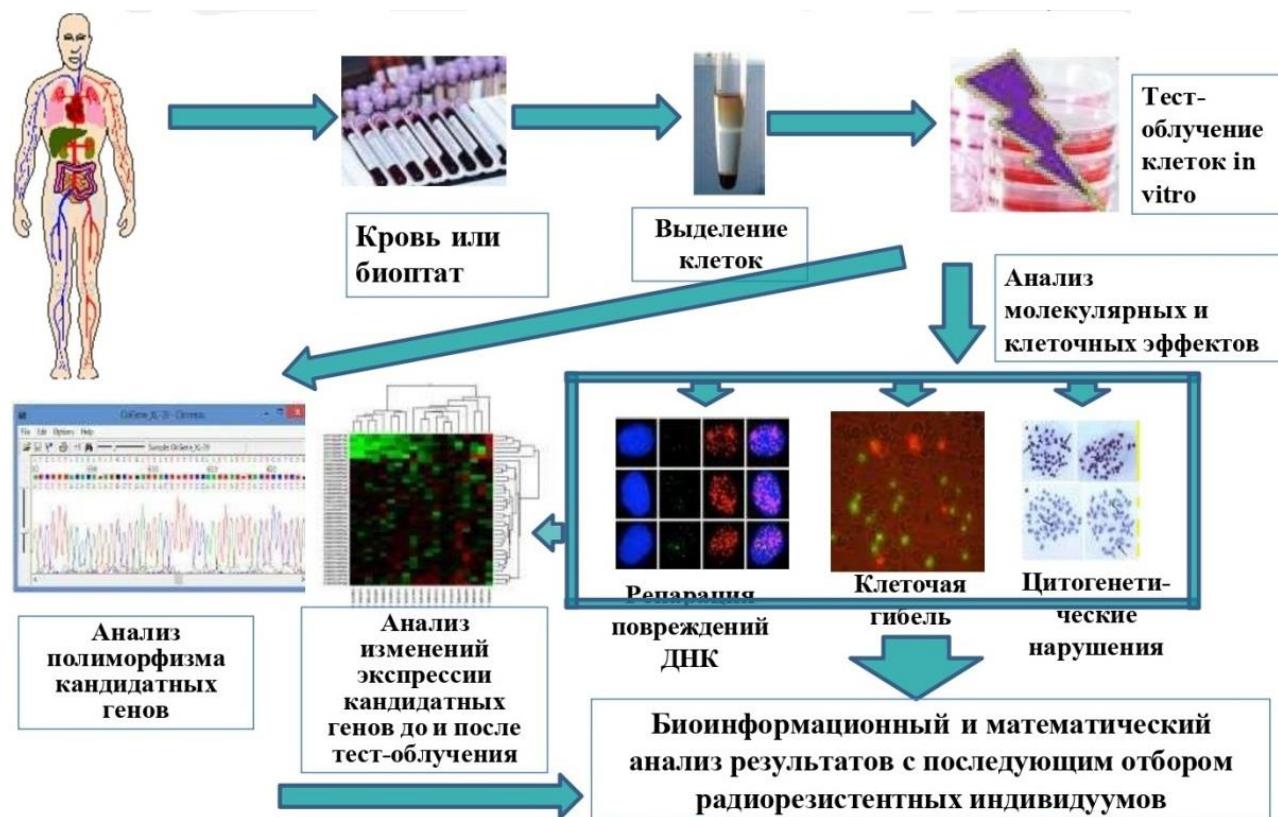


Рис. 2. Отбор радиорезистентных индивидуумов для космического полета в условиях планируемого повышенного облучения по А. Н. Осипову [10].

Токсико-пылевой барьер на других планетах

Рассмотрим кратко токсико-пылевой барьер в космосе. Несмотря на то, что изучением биологических эффектов лунного грунта начали заниматься более полувека назад, интерес к данному вопросу заметно возрос в ряде стран в последние десятилетия. Это связано с планами по исследованию Луны в XXI веке, о которых официально заявлено в США, Европейском союзе, Российской Федерации, КНР, Индии, Японии. Опыт миссий программы «Аполлон» свидетельствует, что, несмотря на подготовку к возможным проблемам, связанным с лунной пылью (ЛП), этот фактор оказался самым неожиданным и неприятным по степени воздействия на посадочный аппарат, оборудование, на деятельность астронавтов на поверхности Луны и на их здоровье, поскольку они вносили ЛП в спускаемые модули на своих скафандрах.

Известно многократно цитируемое выражение командира «Аполлона-17» Юджина Сернана о серьезных проблемах, связанных с ЛП: «Я думаю, что пыль, вероятно, является одним из основных ограничителей планируемой работы на Луне. Я думаю, что мы можем преодолеть другие физиологические или физические или механические проблемы, кроме пыли».

ЛП может быть весьма опасна не столько вследствие своего минералогического состава, сколько в результате уникальных физико-химических свойств, которые определяются специфическими условиями ее образования на поверхности Луны и приводят к повышенной химической реактивности под влиянием высокоэнергетических заряженных частиц солнечного и галактического излучений, солнечного ультрафиолетового излучения и постоянной бомбардировки поверхности лунного реголита микрометеоритами. Общие выводы по влиянию ЛП на сегодня по мнению профессора В.А. Баринова состоят в следующем [13]:

1. Пока нет убедительных оснований считать, что ингаляция лунной пыли может снижать порог, способствовать развитию или усугублять тяжесть течения детерминированных эффектов КР. Учитывая различия в критических органах для КР и ЛП, вопрос о синергизме этих факторов в отношении детерминированных эффектов может быть актуальным и иметь практическое значение при незапланированном облучении вследствие мощной солнечной вспышки или при какой-либо другой «запроектной» аварии, например, связанной с повреждением РИТЭГа.

2. Более вероятным следует рассматривать синергизм в действии ЛП и КР в отношении возрастания риска развития отдаленных стохастических эффектов после возвращения космонавтов на Землю из долгосрочных лунных экспедиций, либо при последующем за лунным этапом межпланетном пилотируемом полете на Марс тех же

космонавтов. Ингалированная ЛП может усиливать канцерогенный риск радиации, прежде всего, в отношении рака легкого, органов желудочно-кишечного тракта, а также способствовать развитию кардиофиброза, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний в отдаленном периоде (рис. 3). В медико-биологических исследованиях доставленных на Землю оригинальных образцов ЛП следует предусмотреть серию экспериментов, адекватно моделирующих разные варианты сочетанного действия на организм лабораторных животных обоих исследуемых факторов, с пожизненным наблюдением за животными и их потомством в первых двух поколениях для выявления соматических и наследуемых эффектов.

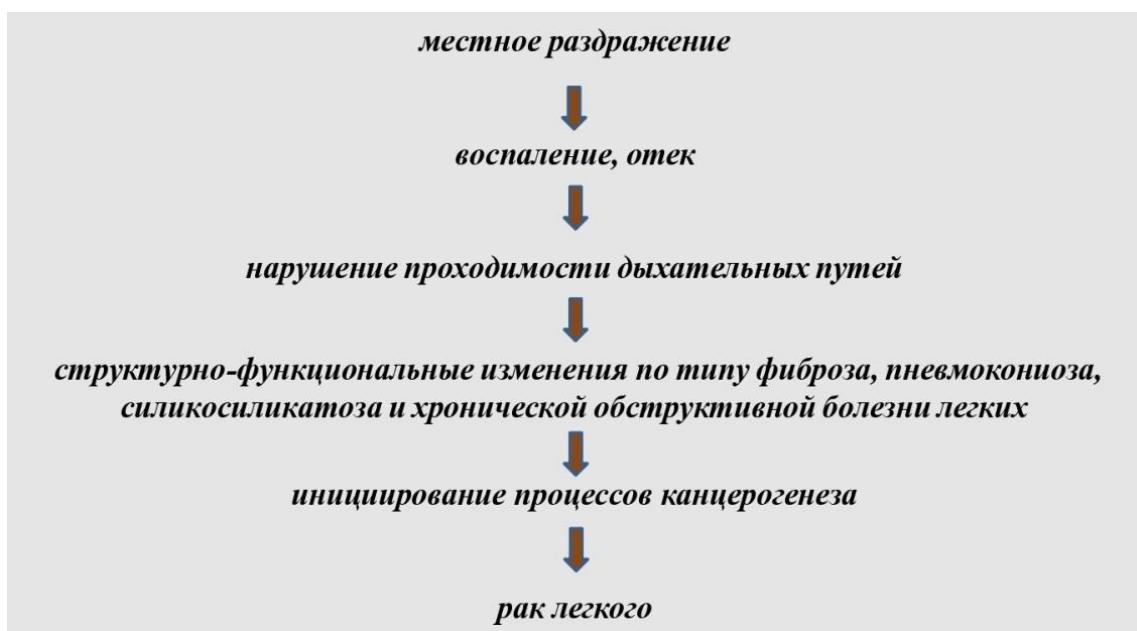


Рис. 3. Токсичность лунной пыли для легких [13].

Гипомагнитный барьер

Одним из наименее изученных барьеров космоса на сегодня является гипомагнитный. На Луне, на Марсе, в окололунном и межпланетном пространстве напряженность магнитного поля на 3-5 порядков ниже напряженности привычного геомагнитного поля. При планировании лунных миссий по программе «Аполлон» известный американский магнитобиолог Д. Байшер по заданию НАСА провел эксперименты по воздействию на добровольцев в течение 10 суток ГМП, ослабленного в 1000 раз. Заметных изменений в их состоянии обнаружено не было. Этот результат, по-видимому, снял существовавшие опасения, что гипомагнитные условия (ГМУ) в космосе могут осложнить лунные миссии, а также осуществление полетов и деятельности на Луне

и Марсе. Между тем в СССР, а в дальнейшем в России выявлено, что систематическое пребывание в ГМУ по 6–8 часов в сутки, как правило, отрицательно влияет на здоровье [14].

Особенно страдает нервная система. Наблюдается дисбаланс основных нервных процессов, преобладает торможение, удлиняется время реакции на появление объекта в режиме аналогового слежения и т. п. Кратковременное пребывание (1-2 часа) в ГМУ ($K \approx 120$) отрицательно влияет на когнитивные функции человека. Исследования на разных живых системах также свидетельствуют, как правило, о нежелательных последствиях воздействия ГМУ, особенно, на стадиях развития организма. Поэтому в России впервые в мире законодательно приняты ограничения на предельные величины ГМУ (СанПин 2.1.8/2.2.4.2489-09).

В Институте биологии и биофизики Томского университета (2008-2012) исследованы поведенческие реакции белых крыс-самцов в ГМУ [$K \approx (0,7\div 1) \cdot 10^3$]. Продолжительность воздействия – до 25 суток, что в масштабах жизни крыс соответствовало длительности полета человека к Марсу и обратно. Резко возрастила агрессивность животных, существенно сдвигались биоритмы, возникали проблемы с памятью, наблюдались другие крайне неблагоприятные явления.

В целом, данные о биологическом действии ГМУ при величинах ослабления $(0,5\div 1) \cdot 10^3$ и выше крайне немногочисленны и зачастую чрезвычайно противоречивы. Вероятно, что действию ГМУ свойственна полигестральная зависимость от величины ослабления, причем для биообъектов с различной организацией и, возможно, для каких-то тех или иных наблюдаемых их реакций на воздействие эта зависимость, скорее всего, будет носить разный характер. Синергизм (более чем вдвое) с действием ядер аргона проявился на генетическом уровне (хромосомные aberrации в семенах салата) при $K > 10^3$ (К.А. Труханов, 2013, 2015) [15].

Одно из возможных решений проблемы ГМУ в космосе заключается в создании в обитаемом объеме, а также в БСЖО искусственного аналога ГМП. Для этой цели предпочтительно использовать электромагнитные системы. В скафандрах для работы на поверхности Луны, возможно, потребуется создание индивидуальной системы аналога ГМП. Потребуется проведение дальнейших углубленных медико-биологических и инженерных исследований для выбора возможных параметров и режимов работы таких устройств.

Другие сложные космические барьеры и перспективы их преодоления

Несколько общих замечаний по последним двум более изученным барьерам. Сведений по ним накоплено много. Гипогравитационный барьер, связанный с воздействием невесомости,

постоянно в эпицентре внимания специалистов по космической физиологии. О нем существует наибольшее количество научной литературы, рассмотреть которую даже кратко невозможно в данном обзоре. Постоянно совершенствуются способы профилактики этого важнейшего фактора космического полета. Есть все основания полагать, что их применение, особенно вместе с искусственной гравитацией, позволит свести влияние этого барьера на общий успех межпланетного полета к допустимому минимуму. То же касается и психофизиологического барьера, подробно изучаемого в многочисленных наземных и полетных экспериментах. Он связан с главной психологической проблемой межпланетного полета – автономностью с феноменом «отрыва» экипажа от Земли вследствие нарушения и задержки информационной связи разной длительности с центром управления полетом и с привычной окружающей человека средой [16].

Перспективным и пока мало разработанным способом преодоления радиационного и других космических барьеров может явиться искусственная гибернация (гипобиоз, криобиоз и т. п.), обоснованная в работах выдающегося отечественного ученого Н. Н. Тимофеева [17]. Необходима многофакторная наземная отработка ее различных режимов, применимая на Земле во многих актуальных ситуациях мирного и военного времени (рис. 4).



Рис. 4. Гибернация как возможный способ преодоления одного или нескольких опасных барьеров в космосе [1, 17].

Различные медико-биологические риски в орбитальных и межпланетных полетах могут быть представлены с помощью светофорного принципа с тремя градациями: не ограничивает КП (зеленый), повышает риск КП (желтый) и ограничивает полет (красный, или наличие непреодолимого барьера при современных технологиях). Очевидно, что научно-исследовательской работы для создания технологий преодоления барьеров предстоит еще много (рис. 5).

ПРЕОДОЛЕНИЕ ЭКИПАЖЕМ ГЛАВНЫХ БАРЬЕРОВ В КОСМОСЕ				
ГЛАВНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ	ПОЛЕТЫ			
	МКС	ЛУНА	ЗА ПРЕДЕЛЫ ОРБИТЫ (1 ГОД)	МАРС (3 ГОДА)
Радиация. Долгосрочный риск канцерогенеза и дегенеративных поражений тканей. Преимущественно изучается в наземных исследованиях				
Гипогравитация. Долгосрочный риск, связанный с адаптацией во время ВКД на Луне, астероидах, Марсе (сенсомоторные, зрительные и вестибулярные нарушения, нарушения работоспособности и послеполетное восстановление)				
Гипомагнитный барьер				
Токсико-пылевой барьер. Риск воздействия токсичной окружающей среды без надлежащего контроля. Системы предупреждения потенциальной токсичности (пыль, химикаты, инфекционные агенты)				
Психофизиологический барьер. Многочисленные факторы, связанные с автономным длительным существованием человека в космосе				
		Возможно	Существует риск	Ограничивает полет

Рис. 5. Преодоление главных космических барьеров: риски для здоровья и работоспособности членов экипажа космического полета.

Заключение

Можно резюмировать, что наиболее серьезный барьер в Космосе сегодня снова – РАДИАЦИЯ, но радиация уже нового для человека – космического спектра. Но ведь «новизна радиации» уже была не раз в мировой биомедицине – в 1896, 1945, 1961, 1969, 1986 годах... Наука всегда доказывала, что «радиационных пределов» в биологии как таковых нет, есть лишь законы биологии и физиологии радиационных воздействий, которые мы пока просто не знаем.

Жизнь давно существует во Вселенной, она способна перенести и длительные космические путешествия, что показано в полетных экспериментах, а значит, весьма вероятно существование «оазисов» и когнитивной жизни, где может найти свое пристанище сначала космонавт, а потом и простой человек. Так было на околоземной орбите, на Луне,

так будет, по-видимому, и дальше от Земли. О последнем варианте этой цепочки пока чаще размышляют ученые-мечтатели. Пожелаем большей активности ученым, нацеленным на технологическую завершенность своих идей. На очереди – систематические исследования возможностей преодоления комбинированных барьеров дальнего космоса для осуществления пилотируемых межпланетных экспедиций.

Список литературы

1. Ушаков И. Б. Космос. Радиация. Человек (Радиационный барьер в межпланетных полетах). М.: Научная книга, 2021. 352 с.
2. Красавин Е. А. Проблема ОБЭ и репарация ДНК. М.: Энергоатомиздат, 1989. 192 с.
3. Григорьев А. И., Красавин Е. А., Островский М. А. К вопросу о радиационном барьере при пилотируемых межпланетных полётах // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87. Н. 1. С. 65–69.
4. Bulanova T. S., Boreyko A. V., Zadneprianetc M. G., Krasavin E. A., Kulikova E. A., Smirnova E. V., Severiukhin Y. S., Timoshenko G. N. Formation of DNA Double-Strand Breaks in Rat Brain Neurons after Irradiation with Krypton Ions (^{78}Kr) // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2019. V. 16. No. 4. P. 402–408.
5. Curtis S. V., Vazquez M. E., Wilson J. W., Atwell W., Kim M. Cosmic ray hits in the central nervous system at solar maximum // Adv. Space Res. 2000. V. 25 (10). N. P. 2035—2040.
6. Rabin B. M., Joseph J. A., Shukitt-Hale B. Heavy particle irradiation, neurochemistry and behavior: thresholds, dose-response curves and recovery of function // Adv. Space Res. 2004. V. 33. P. 1330—1333.
7. Machida M., Lonart G., Britten R. A. Low (60 cGy) doses of ^{56}Fe HZE-particle radiation lead to a persistent reduction in the glutamatergic readily releasable pool in rat hippocampal synaptosomes // Radiat. Res. 2010. V. 174 (5). P. 618—623.
8. Шафиркин А. В. Григорьев Ю. Г., Ушаков И. Б., Шуриakov В. А. Биологическая эффективность быстрых нейtronов и ускоренных многозарядных ионов для построения новой зависимости коэффициентов качества космических излучений от линейной передачи энергии // Авиакосмическая и экологическая медицина 2021. Т. 55. № 3. С. 5–15.
9. Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах (ООКОКП–2021). Методические рекомендации МР ФМБА 17.01-2021. – М.: ГК «Роскосмос», ФМБА. – 44 с.
10. Cortese F., Klokov D., Osipov A., Stefaniak J., Moskalev A., Schastnaya J., Cantor Ch., Aliper A., Mamoshina P., Ushakov I. et al. Vive la radiorésistance!: converging research in

radiobiology and biogerontology to enhance human radioresistance for deep space exploration and colonization // *Oncotarget*. – 2018. – V. 9, N 18. – P. 14692–14722.

11. *Васин М. В., Ильин Л. А., Ушаков И. Б.* Феномен противолучевой защиты индралином крупных животных (собак) и его экстраполяция на человека // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2022. Т. 67. № 3. С. 5–12.

12. *Кричевский С. В.* Краткая история технологий защиты людей от радиации в космосе в России и мире в XX – начале XXI в. // *Вопросы истории естествознания и техники*. 2025. Т. 46. № 1. С. 146–165.

13. *Баринов В. А., Ушаков И. Б.* Токсикология лунной пыли в аспекте возможной профессиональной патологии космонавтов-участников экспедиции на Луну // *Медицина труда и промышленная экология*. 2022, Т. 62, № 2, С. 72–90.

14. *Копанев В. И., Шакула А. В.* Влияние гипогеомагнитного поля на биологические объекты. Л.: Наука, 1985. 73 с.

15. *Труханов К. А.* Земные и космические проблемы биологического действия гипомагнитных условий // II-я Международная научно-практическая конференция «РАДИОИНФОКОМ – 2015» (Москва, 14-18.04.2015 г.). М.: МИРЭА. Ч. 2, С.325–332.

16. *Ушаков И. Б., Моруков Б. В., Бубеев Ю. А., Гущин В. И., Васильева Г. Ю., Виноходова А. Г., Швед Д. М.* Основные результаты психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500» // *Вестник Российской академии наук*. 2014, Т. 84. № 3. С. 212–221.

17. *Тимофеев Н. Н.* Гипобиоз и криобиоз. Прошлое, настоящее и будущее. М.: Информ-Знание, 2005. 256 с.

Миненко Виктор Елисеевич
Доктор технических наук, Профессор,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана»
г. Москва
minenkove@bmstu.ru

Minenko Victor Eliseevich
Doctor of Science (Eng.), Professor
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“N. E. Bauman Moscow State Technical University”,
Moscow
minenkove@bmstu.ru

Солодкая Елена Викторовна
Старший преподаватель,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана»
г. Москва
solodkaya@bmstu.ru

Solodkaia Elena Viktorovna
Senior lecturer
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“N. E. Bauman Moscow State Technical University”,
Moscow
solodkaya@bmstu.ru

Столярова Нина Анатольевна
Аспирант,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана»
г. Москва
stoliarova_nina@mail.ru

Stoliarova Nina Anatolievna
Graduate student
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“N. E. Bauman Moscow State Technical University”,
Moscow
stoliarova_nina@mail.ru

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПИЛОТИРУЕМОЙ МАРСИАНСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ

METHODOLOGY FOR DESIGNING A MANNED EXPEDITION TO MARS AND METHODS TO IMPROVE RELIABILITY

Аннотация. Предложена уникальная методика проектирования пилотируемой марсианской экспедиции и методы повышения надёжности, основанные на опыте, с учётом новых разработок и исследований. Рассмотрены варианты заблаговременного оснащения экспедиции и её дооснащения. Разработана новая форма марсианского посадочного корабля и корабля возвращения на Землю с учётом главного критерия экспедиции – повышение надёжности. Проведено моделирование процесса спуска корабля на поверхность Марса. Сделан вывод о возможности успешной марсианской пилотируемой экспедиции в ближайшее время.

Annotation. A unique methodology for designing a manned Martian expedition and methods for increasing reliability based on experience, taking into account new developments and research, are proposed. Options for equipping the expedition in advance and for its additional equipping are considered. A new form of the Martian landing ship and the ship for returning to Earth has been developed taking into account the main criterion of the expedition – increasing reliability. The process of the ship's descent to the surface of Mars has been modeled. A conclusion has been made about the possibility of a successful manned expedition to Mars in the near future.

Ключевые слова: Марсианская экспедиция, марсианский посадочный корабль, аппарат возвращения на Землю, марсианский экспедиционный комплекс, Марс, методика, проектирование, спускаемый аппарат.

Key words: Mars expedition, Martian landing craft , Earth return vehicle, Mars expedition complex, Mars, methodology, design, descent vehicle.

Введение

Вопрос разработки пилотируемой марсианской экспедиции ставит новые вызовы человечеству и открывает перспективы его развития, поэтому работы в данном направлении важны и актуальны во все времена. Основоположником теории полётов в космос является русский учёный Константин Эдуардович Циолковский, ещё в начале XX века он описал теорию полёта ракеты [1]. Гораздо позже в этом направлении начнут работать немецкие учёные Герман Оберт и Вернер Фон Браун. В направлении создания марсианского экспедиционного комплекса было проведено много работ. Вернер Фон Браун написал книгу «Марсианский проект», к ней добавлялось техническое приложение, описывавшее детали полёта на Марс. Оно было издано отдельно на немецком языке в 1952 году, а на английском – в 1953 [2].

В СССР в 1960-1970-е годы разработкой марсианской экспедицией в Центральном научно-исследовательском институте машиностроения занимались Сергей Павлович Королёв и Василий Павлович Мишин [3].

В нашей работе проанализированы и учтены многие проблемы, с которыми столкнулись разработчики, как при создании проекта марсианского экспедиционного комплекса, так и при проектировании марсианского посадочного корабля и корабля возвращения на Землю. Основная задача исследования заключалась в обеспечении надёжности экспедиции. На пути решения данной задачи с помощью методики проектирования, изложенной в статье, были разработаны, смоделированы и обоснованы новые формы марсианского посадочного корабля, корабля возвращения на Землю, также предложен проект будущего марсианского экспедиционного комплекса.

Научная новизна исследования заключается в предложении нового подхода к оптимизации формы посадочных кораблей для успешной посадки на Марс и в разработке методики, которая учитывает специфику марсианской среды и потребности экипажа.

1. Методы повышения надёжности: история развития и новые предложения

Одним из элементов увеличения надёжности создания экспедиции под руководством Сергея Павловича Королёва и Василия Павловича Мишина была разработка очень большой

ракеты Н1 [4]. Аналогичная ракета была разработана и в Соединенных Штатах – «Сатурн-5», которая затем использовалась для создания лунной экспедиции. В данном случае Сергей Павлович Королёв и Василий Павлович Мишин рассматривали разработку Н1-М как этап начала запуска экспедиции на Луну и затем превращении этой экспедиции в этап, который позволил бы начать разработку экспедиции на Марс. В 1968-1970-х годах, после смерти Сергея Павловича Королёва, под руководством Василия Павловича Мишина был разработан проект Н1-М (многотонный), в котором принимали участие теоретики, аэродинамики, баллистики, тепловики, электронщики, конструкторы и материаловеды. Проект назывался Н1-М (Н1 – ракета Н1, М-марсианско направление) [5]. Предполагалось, что экспедиция должна быть разработана таким образом, чтобы она стартовала с орбиты искусственного спутника Земли в направлении Марса, а затем вышла на орбиту Марса. Экспедиция состояла из многих модулей и включала в себя аппараты для посадки на Марс и для возвращения на Землю после завершения экспедиции. Многомесячный полёт к Марсу требовал серьезного отношения к длительному пребыванию космонавтов на борту марсианского экспедиционного комплекса как при полёте к Марсу, так и при возвращении от Марса вплоть до входа в атмосферу Земли.

В этом проекте марсианский посадочный корабль был похож на объект класса «Апплон»: примерно такая же схема была рассмотрена ранее Вернером Фон Брауном. Такой гигантский «Апплон» являлся марсианским посадочным кораблём, несшим в себе экипаж из нескольких человек. Посадка на поверхность Марса предполагалась на жидкостных реактивных двигателях. Этот марсианский посадочный корабль нёс в себе взлетную двухступенчатую ракету, которая должна была вывести на орбиту искусственного спутника Марса экипаж с полезным грузом, затем происходиластыковка со станцией. После завершения миссии экспедиционный комплекс стартовал к Земле, при подходе к Земле экипаж пересаживался на другой корабль, который был предназначен для входа в атмосферу Земли. Марсианский экспедиционный комплекс после отстыковки экипажа и отправки его на Землю подлежал уничтожению.

Марсианский аппарат возвращения на Землю должен был приземлиться на территории Советского Союза. Сложность заключалась в том, что скорости подхода к Земле доходили до 21 км/с. Выбирались такие режимы экспедиции, чтобы ограничить скорость входа в атмосферу Земли до 15 - 16 км/с. Аппараты, которые разрабатывались ранее для марсианского экспедиционного комплекса класса «Апплон» с качеством 0,5 и большого габарита, оказались малопригодны ввиду тяжелых тепловых режимов при входе в атмосферу Земли. В связи с этим потребовался новый аппарат класса «Несущий корпус», чтобы войти в атмосферу Земли с приемлемыми перегрузками и тепловым режимом нагрева

поверхности и выполнить заданный маневр. Основная сложность выпала на разработку марсианского посадочного корабля, который также рассматривался в некоторых случаях как средство обеспечения спасения экипажа, если произойдет авария на участке входа в атмосферу Марса. Эта операция называлась «Птичка». В случае аварийной ситуации марсианская взлетная ракета вместе с отсеком отделялась от основного посадочного корабля и производила маневр по достижению орбиты Марса. На этом экспедиция завершалась, при этом люди оставались в безопасности.

К сожалению, данные разработки не воплотились в жизнь, лунная гонка свернулась.

В 90-х годах XX века была предпринята попытка наладить контакт с американскими исследователями для того, чтобы организовать совместную экспедицию на Марс. Пришлось думать об изменения конфигурации марсианского посадочного корабля. Ориентация шла не только на жидкостно-реактивные источники топлива, но и на ядерные. Последние источники создавали некоторые трудности для модулей, которыми комплектовался марсианский экспедиционный комплекс. Наличие ядерных источников требовало сокращение размеров миделя посадочных кораблей с 10 м до 5 м, чтобы марсианский посадочный корабль не попадал в зону облучения. Таким образом, возникла схема марсианского посадочного корабля цилиндроконической формы. Маневрирование такого аппарата в атмосфере Марса считается более надежным, качество было повышенное по сравнению с формой «Апполон», посадка также производилась на жидкостные ракетные двигатели с зависанием. В двух отсеках находились посадочные двигатели, в центральном отсеке находилась двухступенчатая марсианская взлётная ракета, которая должна была выводить экипаж снова на орбиту искусственного спутника Марса и стыковаться с марсианским экспедиционным комплексом. Такой отчет был выпущен, схема была представлена НПО «Энергия» [6].

В дальнейшем работа продолжалась, но выяснилось, что необходимо решить очень большой комплекс задач по повышению надёжности не только всей экспедиции в целом, но и надёжности посадки марсианского посадочного корабля и надёжности входа в атмосферу Земли другого корабля возвращения с Марса. Здесь необходимо было учитывать опыт, который имелся после проведения большого комплекса работ по объекту «Союз» по ликвидации всех аварийных ситуаций, а также с учётом всевозможных аварийных ситуаций с ракетоносителями «Союз», «Протон», «Зенит» «Ангара» и другими. Все эти тонкости необходимо было учесть в проекте нашего космического корабля.

На основании вышеуказанного были сформулированы основные методы повышения надёжности:

1. Обеспечение безопасности экипажа на любом этапе марсианской экспедиции, предоставление возможности его доставки в безопасное место пребывания. Данный пункт обеспечивается на этапе спуска экипажа в марсианском посадочном корабле на поверхность Марса за счет наличия в корабле взлётной ракеты.

2. Разработка, моделирование новой формы спускаемого корабля, которая позволяет совершить успешный вход в атмосферу Марса и посадку на его поверхность.

3. Заблаговременное оснащение марсианской экспедиции. Данное оснащение предлагаем осуществлять разработанным нами посадочным кораблём, который может использоваться как в пилотируемом варианте, так и в беспилотном с прямым входом в атмосферу Марса.

4. Проработка возможности отделения марсианской взлётной ракеты в случае аварийной ситуации на этапе пилотируемого спуска в атмосфере Марса по образу «Птички».

5. Организация дополнительных станций с модулями связи для возможности оперативной связи экипажа с Землей.

2. Методика проектирования пилотируемой марсианской экспедиции

В основе методики проектирования лежит рассмотрение множество задач, возникающих в процессе разработки марсианской пилотируемой экспедиции, в частности разработки марсианского экспедиционного комплекса. По сложности организации марсианский экспедиционный комплекс и все корабли, входящие в его состав, во многом превосходят такие космические станции как «Мир» и МКС.

Основные проектные проблемы создания марсианского экспедиционного комплекса:

1. Определение состава модулей, смежных отсеков и конструкционных агрегатов марсианского экспедиционного комплекса.

2. Обеспечение длительного межпланетного полёта в автономном режиме.

3. Дооснащение в полёте и обеспечение возможности возвращения экипажа на Землю.

4. Радиационная безопасность марсианского экспедиционного комплекса (Проработка радиационных убежищ).

5. Обеспечение гравитационной безопасности экипажа при длительном межпланетном полёте. (Обеспечение тренировочного процесса на станции, обустройство центрифуг с повышением гравитационных нагрузок).

6. Медико-физиологические требования к экипажу. Выбор оптимальной численности экипажа и квалификации. (Многопрофильность с возможностью самостоятельного оказания медицинской помощи).

7. В связи с отсутствием многочисленного персонала по обслуживанию взлетно-посадочного комплекса возникает необходимость максимально автоматизированного процесса посадки и старта.

8. Обеспечение замкнутой системы жизнедеятельности. Сложности по сравнению с МКС возрастают, необходимо использовать замкнутые циклы обеспечения жизнедеятельности.

9. Метеоритная безопасность марсианского экспедиционного комплекса.

10. Реализация комплексной программы дооснащения марсианского экспедиционного комплекса с помощью беспилотных марсианских кораблей (БМПК) прямого входа в атмосферу Марса. Дооснащение марсианского экспедиционного комплекса беспилотными аппаратами.

11. Баллистическая программа марсианского экспедиционного комплекса. Реализация возможности использования гравитационного поля Венеры для корректировки траекторий марсианского экспедиционного комплекса и беспилотных марсианских кораблей.

12. Выбор орбиты марсианского экспедиционного комплекса для работы на орбите искусственного спутника Марса.

Задачи, требующие решения при разработке марсианской планетной базы:

1. Проектные проблемы создания марсианской планетной базы (МПБ).
2. Выбор зоны развёртывания МПБ.
3. Определение этапов создания МПБ. Программа развёртывания.
4. Состав и назначение модулей и полигонов МПБ.
5. Разработка марсианских планетоходов (беспилотных и пилотируемых).
6. Организация размещения модулей МПБ и систем в марсианских заглублённых укрытых бункерах.
7. Система энергопитания, светообеспечения и теплового режима модулей МПБ. Обеспечение эффективности состава атмосферного воздуха в герметичных модулях.
8. Использования ресурсов Марса для пополнения водных и кислородных запасов МПБ.
9. Использование реголита для конструктивных решений при создании МПБ.

10. Программа обеспечения поддержки МПБ со стороны МЭК, ЦУП Земли (радиосредства, всевозможные ретрансляционные средства на поверхности Марса).

11. Программа работ экипажа МПБ. Ротация состава, при которой есть возможность спуска людей на поверхность Марса и их обратной доставки в марсианский экспедиционный комплекс.

Задачи, требующие решения при отработке и реализации элементов марсианского экспедиционного комплекса на орбите искусственного спутника Земли:

1. Состав модулей. Порядок сборки и дооснащения на орбите искусственного спутника Земли.

2. Программам выведения на траекторию полёта к Марсу.

3. Отработка программы марсианского экспедиционного комплекса в составе лунной экспедиционной программы. Использование резервов и ресурсов марсианского экспедиционного комплекса для лунных и орбитальных программ.

4. Отработка систем марсианского посадочного корабля и марсианского корабля возвращения в орбитальных условиях.

5. Разработка многоразовой системы выведения на орбиту искусственного спутника Земли модулей и элементов дооснащения марсианского экспедиционного комплекса.

Предлагаемая схема полета марсианской экспедиции (рис. 1) и этапы полёта марсианского экспедиционного комплекса [7]:

1. Сборка экспедиционного комплекса на орбите искусственного спутника Земли.

2. Подготовка к отлёту и отлёт к Марсу.

3. Полёт по траектории Земля – Марс.

4. Полёт по орбите искусственного спутника Марса. Высота орбиты – 400 км.

5. Спуск марсианского посадочного корабля в атмосфере Марса.

6. Посадка на поверхность Марса. Обустройство марсианской базы.

7. Взлёт экипажа к марсианской станции.

8. Старт к Земле и полёт по траектории «Земля-Марс».

9. Подлёт к Земле.

10. Вход в атмосферу Земли и посадка.

Из-за продолжительности полёта возникает необходимость снижения расходов на коррекцию траекторий, разгонно-тормозные импульсы. Для этого необходимо предварительно иметь ретрансляционные спутники, которые осуществляли связь с

экспедиционным комплексом и выдавали инструкции по корректировке спуска на поверхность Марса.

Необходимо отметить, что основное внимание в данной статье уделяется 5, 6 и 7 этапам полёта марсианского экспедиционного комплекса. В частности, вопросу обеспечения их надежности. Дальнейшая разработка формы и габаритов марсианского посадочного корабля велась с учетом возможности спасения экипажа в случае аварийной ситуации на любом этапе полёта. Внутри марсианского посадочного корабля закладывается марсианская взлётная ракета, которая позволит осуществить старт с поверхности Марса. В качестве полезной нагрузки во взлетной ракете закладывается марсианский корабль класса «несущий корпус». При нештатных ситуациях на старте взлетной ракеты данный корабль, имеющий соответствующую тепловую защиту и оборудованный комплексом средств посадки на жидкостных ракетных двигателях, способен самостоятельно осуществить посадку на Марс. Таким образом, возникала необходимость увеличения массово-габаритных параметров марсианского посадочного корабля.

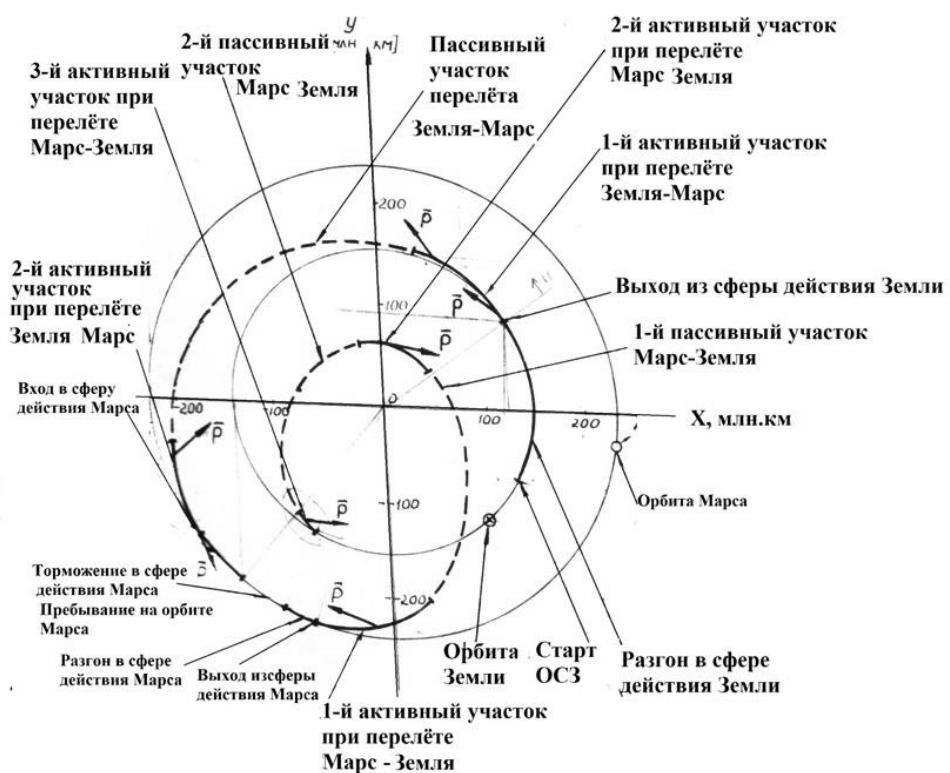


Рис. 1. Схема полёта марсианской экспедиции.

Предлагаемая схема марсианского экспедиционного комплекса (рис. 2) и состав модулей.

1. Базовый жилой модуль (БЗМК).
2. Агрегатно-приборный модуль (АПМ).

3. Модуль двигательных систем (МДС).
4. Аварийно-радиационный модуль (АРМ).
5. Медико-физиологический модуль.
6. Марсианский посадочный корабль (МПК).
7. Марсианский орбитальный корабль (МОК).
8. Оранжерейно-тепличный модуль (ОТМ).
9. Модуль гидропоники (МГП).
10. Шлюзовой отсек марсианского корабля возвращения (ШО).
11. Марсианский корабль возвращения (МКВ).
12. Блок подтормаживания (БП).
13. Шлюзовой отсек марсианского экспедиционного комплекса.
14. Антенные устройства марсианского экспедиционного комплекса.
15. Гравитационная кабина.
16. Блок коррекции орбиты марсианского экспедиционного комплекса.

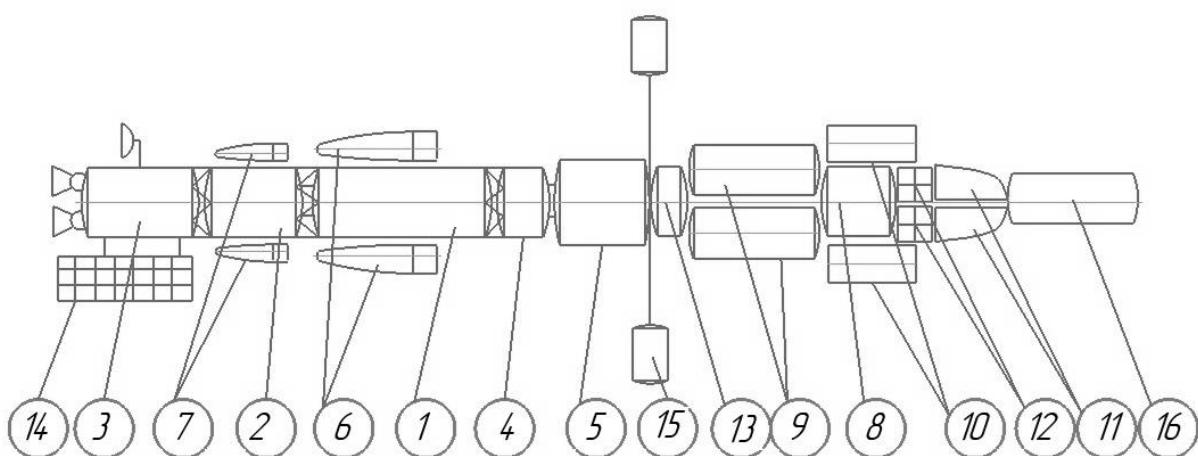


Рис. 2. Схема марсианского экспедиционного комплекса.

Состав модулей марсианского экспедиционного комплекса, представленного на рис. 2:

В составе комплекса входят два марсианских посадочных корабля (№6), масса которого порядка 90 т, аппарат класса «Несущий корпус», качество 1,5, маневрирующий в атмосфере Марса, в котором можно размещать от двух до четырёх человек экипажа; марсианский орбитальный корабль (№7); блок подтормаживания (№12); шлюзовой отсек (№10); марсианский корабль возвращения (№11).

При подходе марсианского экспедиционного комплекса к Земле производится заблаговременная проверка всех систем марсианского корабля возвращения, блока подтормаживания и систем управления всего марсианского экспедиционного комплекса и его коррекция для планирования полета мимо Земли с большими скоростями 15–16 км/с уходом в сторону. При полёте в заданный момент от марсианского комплекса происходит отстыковка кораблей возвращения с экипажем для дальнейшей посадки на Землю.

Методика проектирования марсианского посадочного корабля

Основой методики проектирования марсианского посадочного корабля, предложенной нами, является алгоритм подбора формы аппарата исходя из требуемых параметров по численности экипажа, массе полезной нагрузки, обеспечению надёжности. Рассмотрим более подробно марсианский посадочный корабль, на который ложится основная нагрузка по обеспечению безопасности космонавтов при спуске на поверхность Марса и дальнейшего старта с поверхности.

При выборе формы аппарата рассматривались и анализировались различные варианты, которые представлены на рис. 3.

Варианты конфигураций МПК	Ракетопланная	Сегментально-коническая	Сегментально-коническая	Цилиндро-коническая ("Несущий корпус")	Конфигурация МПК
1.5..2.5	0.3..0.5	0.3..0.5	0.5..1	Aэродинамическое качество	
84..96	48..60	48..72	60	Прогнозная масса, т	
24	Длина 10	Длина 10	Длина 21	Геометрические размеры, м	

Рис. 3. Варианты схем марсианского посадочного корабля.

Согласно алгоритму, представленному на рис. 4, исходя из требований по надежности, был проведен расчет различных форм марсианских посадочных кораблей. В данный расчет было заложено варьирование численности экипажа согласно техническому

заданию. Была разработана объёмно-массовая сводка всех существующих типов спускаемых аппаратов, в частности: возвращаемая баллистическая капсула, спускаемый аппарат «Союз», спускаемый аппарат «Аполлон», спускаемый аппарат «несущий корпус», спускаемый аппарат «диск».

Объемно-массовые характеристики были сформированы главным требованием по критерию надежности.

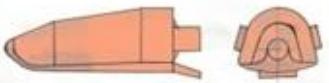
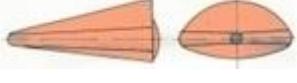
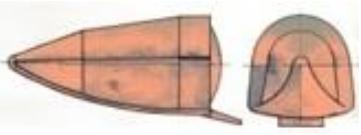
Алгоритм определения проектных параметров при разработке схем спускаемого марсианского посадочного корабля показан на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм определения проектных параметров.

В таблице 1 показаны схемы, которые использовались в различных вариантах транспортных кораблей, включая большие проекты такие, как Н1-М (1970 год) [8], аппарат класса «Несущий корпус» схема №3. Схема №5 (1978 год) – схема кабины, которая использовалась для одного из вариантов схемы типа «Спейс Шаттл» без посадки на аэродром.

Таблица 1. Примеры разрабатываемых ранее аппаратов класса «Несущий корпус»

Схемы аппаратов	Год разработки	Основные проектные характеристики
1. 	1962	Масса аппарата – 5000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1$, $\alpha b=20^\circ$
2. 	1968	Диапазон масс 6 000...12 000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1..1,5$; $\alpha b=20^\circ...30^\circ$
3. 	1970	Масса аппарата – 8 000...14 000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1$, $\alpha b=20^\circ...30^\circ$, $K_{зап.}=0,78$
4. 	1972	Масса аппарата – 5000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1$, $\alpha b=20^\circ...35^\circ$.
5. 	1978	Масса кабины – 6 000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=0,8$.
6. 	1990	Масса капсулы – 400 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1$, $\alpha b=20^\circ...40^\circ$
7. 	1994	Масса капсулы – 1000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1,2$, $\alpha b=20^\circ$, перегрузка – 2, точность посадки ± 5 км
8. 	1995	Масса капсулы – 7000 кг Аэродинамические. характеристики: $K=1,2$, $\alpha b=20^\circ$

Исходя из анализа всех ранее разработанных форм аппаратов и используя алгоритм, представленный на рис. 4, нами разработана новая форма марсианского посадочного корабля класса «Несущий корпус».

На рис. 5 представлена данная схема марсианского посадочного корабля, предназначенного для спуска и посадки на поверхность Марса. Этот аппарат совместил в себя преимущества всех схем (см. таблицу 1), начиная от схемы №3 (1970 год) и заканчивая схемами 1995 года со сферической несущей поверхностью, все аэродинамические и тепловые преимущества, его маневренные характеристики также находятся на высоком уровне.

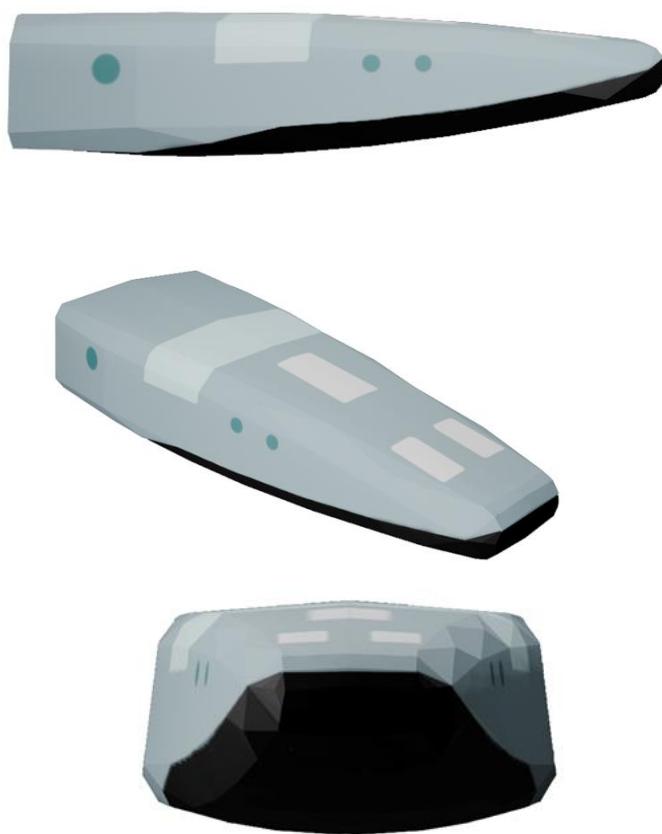


Рис. 5. Схема марсианского посадочного корабля.

Масса такого аппарата около 90 000–100 000 кг, а его аэродинамическое качество составляет 1,5…1,8. Представленный аппарат с расширенным носовым отсеком имеет улучшенные центровочные характеристики для его балансировки на участке спуска в атмосфере Марса с большой скоростью как прямого входа (с орбиты Земли), так и с орбиты Марса (пилотируемый спуск). Прямой вход марсианского посадочного корабля в атмосферу Марса со скоростями порядка 12–15 км/с предполагается для заблаговременного беспилотного дооснащения марсианской базы. Характеристики теплозащиты

представленного марсианского посадочного корабля могут меняться в зависимости от назначения: пилотируемое или беспилотное. Основные характеристики представленного посадочного корабля показаны в таблице 2.

Таблица 2. Габаритные характеристики марсианского посадочного корабля

№	Наименование	Размерность	Значение
1	Диаметр	м	6
2	Длина	м	25
3	Удлинение	м ²	4,2
4	Суммарная площадь поверхности	м ²	363,4
5	Площадь поверхности донышка	м ²	28,3
6	Площадь боковой поверхности	м ²	335
7	Центр тяжести поверхности	м	6
8	Центр тяжести объёма	м	2,1
9	Суммарный объём	м ³	409
10	Коэффициент заполнения		0,7

В данном случае был использован опыт разработок кораблей класса «Союз» с применением автоматизированных систем управления и обеспечения систем жизнедеятельности. Комплекс средств посадки для данного корабля всегда будет ориентирован на аппарат, осуществляющий посадку на жидкостного-реактивных двигателях. При отработке на Земле данного спускаемого аппарата необходимо заменить жидкостно-реактивные двигатели на турбореактивные для многократного использования и тренировки экипажа.

На рис. 6 представлен график зависимости плотности аппарата от его объёма.

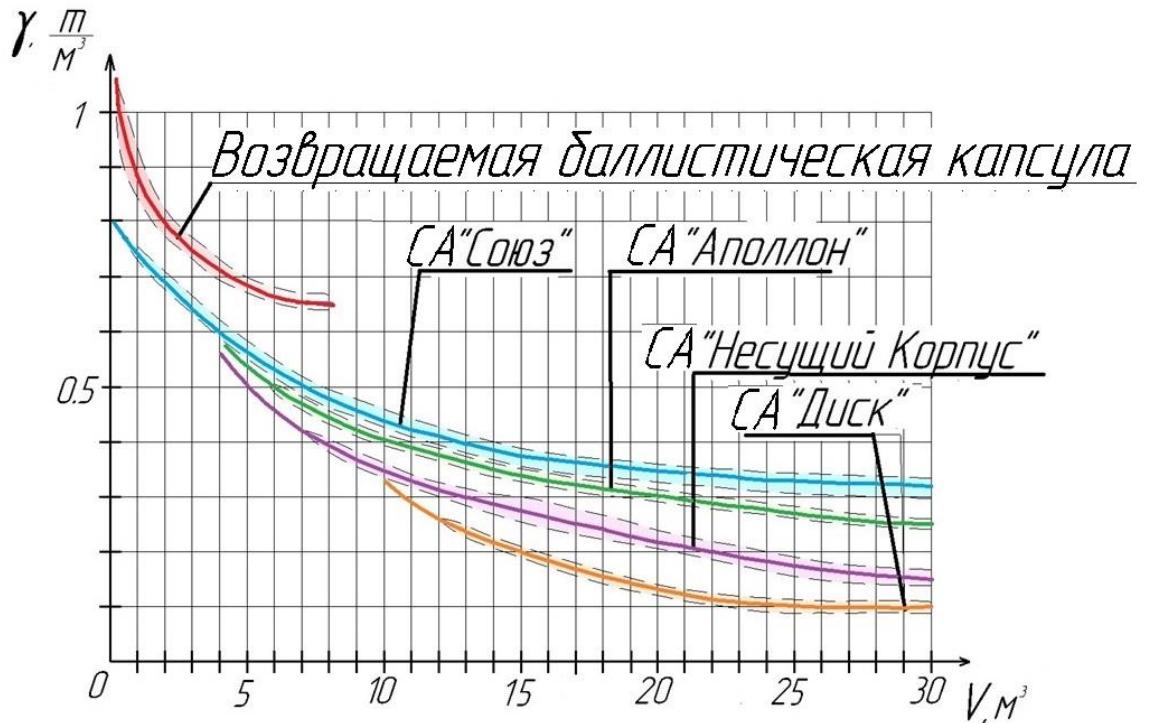


Рис. 6. График зависимости плотности заполнения аппарата от его объёма.

Много работ было проведено по аппаратам класса «Несущий корпус», «Диск», по схемам «Аполлон» и по возвращаемым баллистическим капсулам. Необходимо знать прогресс изменения массовых характеристик при варьировании габаритных размеров аппаратов. При увеличении габаритных размеров (поверхностные и объёмные характеристики) плотность уменьшается. Данная схема, предложенная нами, помогает провести большой объём работ по предварительной оценке массово-объёмных характеристик и варьированию всевозможных параметров аппаратов различных классов, чтобы понять, насколько выгодна та или иная схема аппарата, какова будет масса полезного груза, какое количество экипажа можно разместить. Таким образом, приведённый на рис. 6 график помогает на стадии предварительных изысканий рассматривать варьирование габаритов аппарата.

Ниже представлены аэродинамические и баллистические характеристики предложенного спускаемого посадочного корабля в двух вариантах.

При расчёте аэродинамических характеристик была использована теория Ньютона [9], которая на данном этапе проектирования помогает оценить изменение коэффициентов продольной и поперечной силы, коэффициентов центра давления, аэродинамическое качество в зависимости от угла атаки (рис. 7, 8, 9).

Расчёт всех аэродинамических характеристик приводит к необходимости определения балансировки аппарата на заданном угле атаки, чтобы обеспечить заданное

аэродинамическое качество [10]. Балансировка на этом угле приводит к появлению центра давления на этом аппарате, который не всегда попадает в благоприятную зону. При этом будем использовать коэффициенты C_x и C_y для того, чтобы охарактеризовать целесообразность размещения центра давления вблизи центра тяжести объема нашего аппарата. Для аппаратов класса «Несущий корпус» центр давления перемещается ближе к носовой части, необходимо смещать его по компоновочным критериям ближе к центру тяжести объема аппарата. Для этого требуется определенная балансировка аппарата.

На рис. 7, 9 приведены графики аэродинамических характеристик предложенного марсианского посадочного корабля:

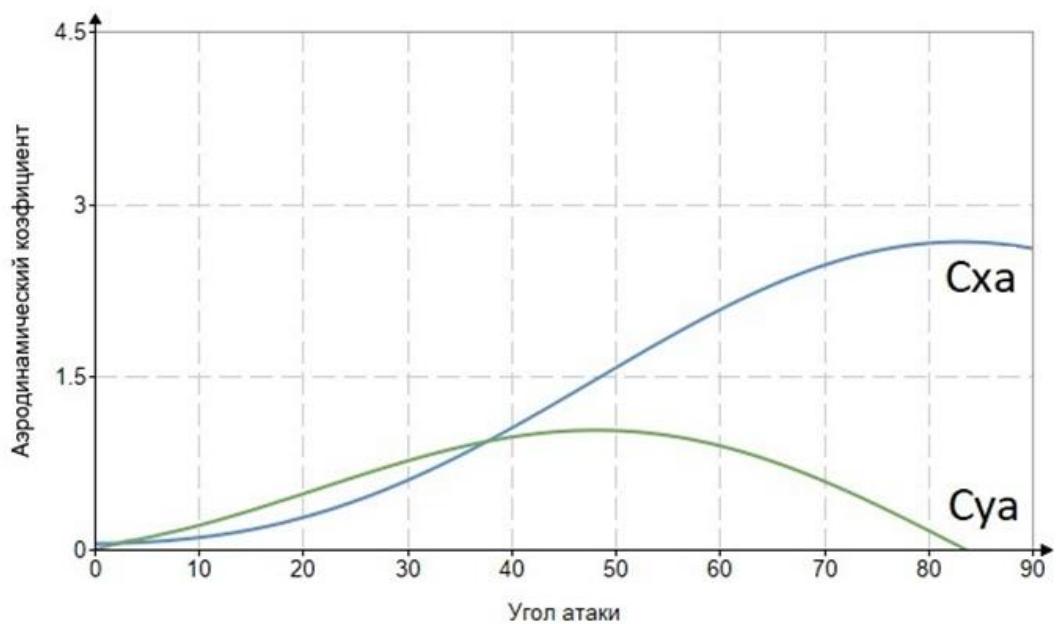


Рис. 7. График зависимости аэродинамических коэффициентов от угла атаки.

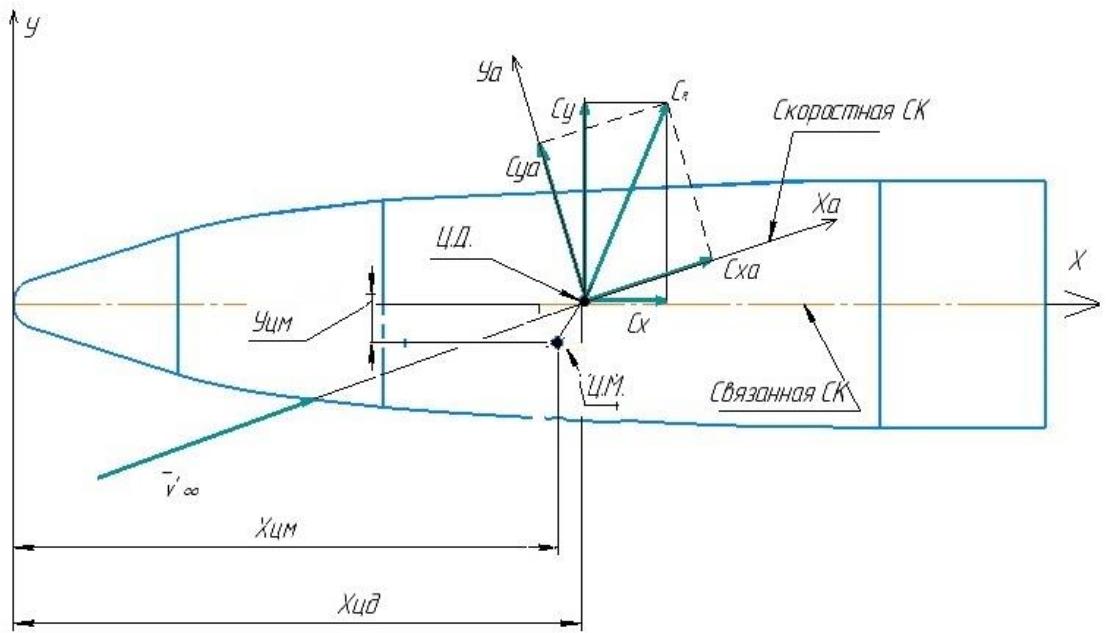


Рис. 8. Схема действия сил на марсианский посадочный корабль.

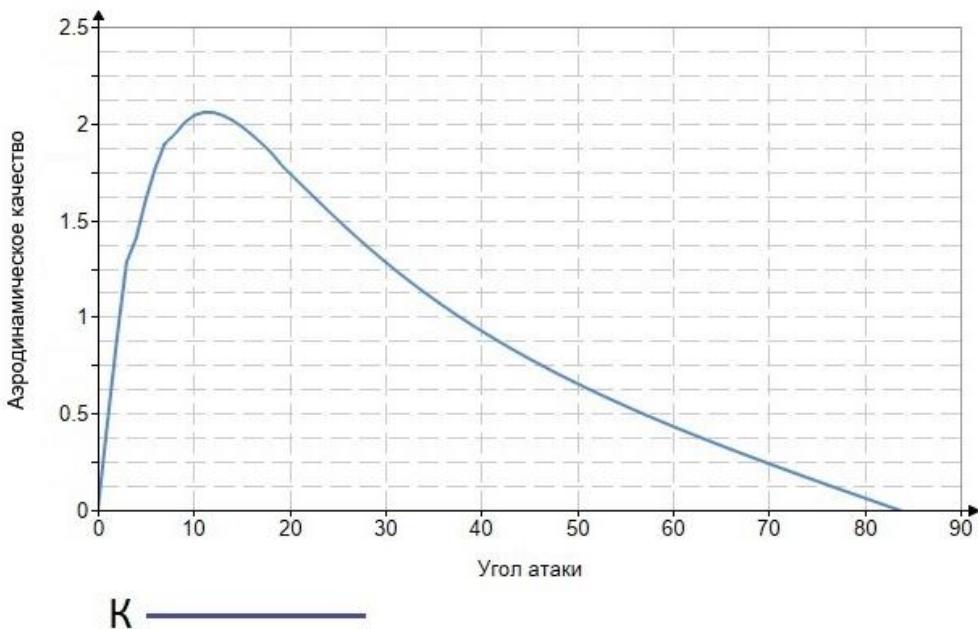


Рис. 9. График зависимости аэродинамического качества от угла атаки.

Если сходим с орбиты Марса с помощью тормозного импульса, то можем обеспечить любой угол входа от -1° до -10° . При подходе к поверхности Марса плотность его атмосферы существенно отличается от плотности атмосферы Земли. В связи с этим тепловой режим существенно облегчён по сравнению со спуском в атмосфере Земли. Ниже на рис. 10 и 11 показаны баллистические характеристики аппарата при посадке на Марс.

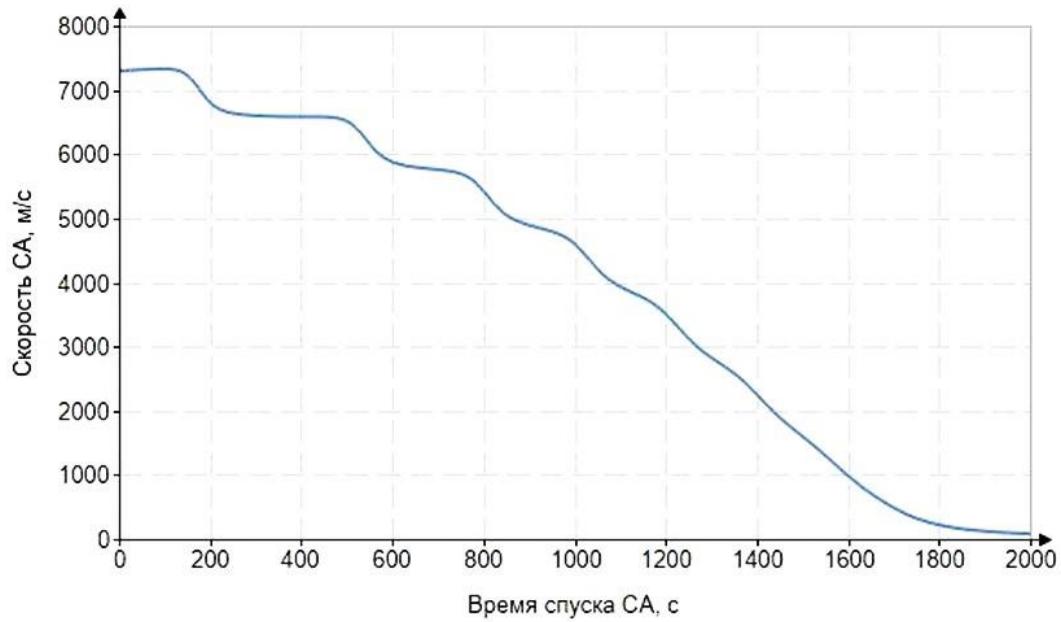


Рис. 10. График зависимости скорости от времени при входе в атмосферу Марса марсианского посадочного корабля.

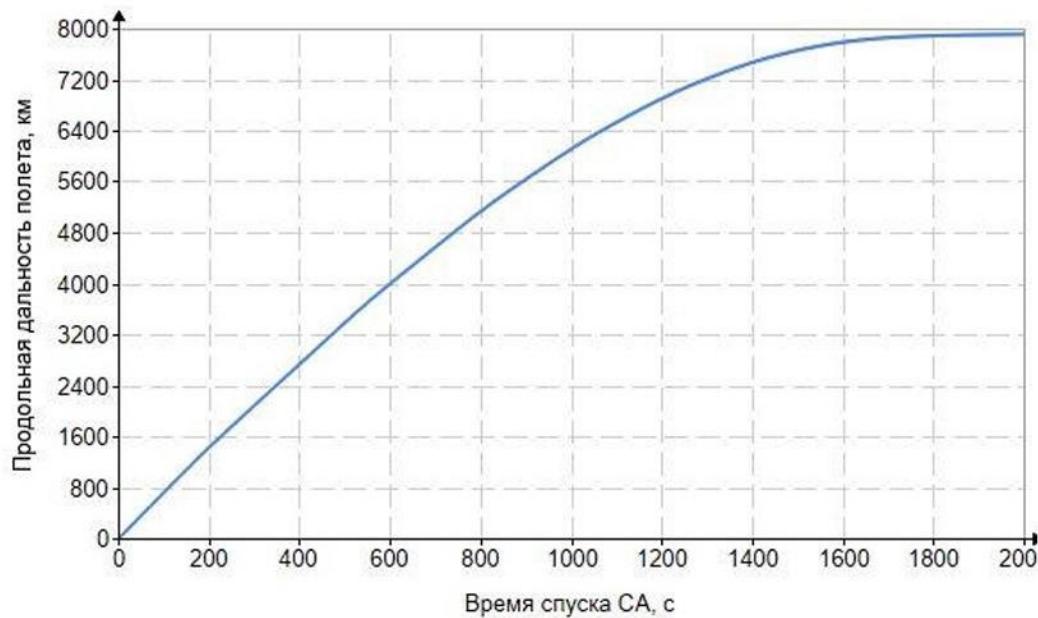


Рис. 11. График зависимости продольной дальности от времени при входе в атмосферу Марса марсианского посадочного корабля.

При расчёте баллистических характеристик была использована система дифференциальных уравнений [11], которую мы решали методом Рунге-Кутта четвертого порядка с переменным шагом интегрирования. В результате получили данные по перегрузке, скоростному напору, конвективному тепловому потоку.

После посадки марсианского аппарата из него автоматически извлекается марсианская взлётная ракета и после завершения миссии экипажа на Марсе происходит дальнейший старт взлётной ракеты с поверхности Марса, отстыковка транспортного корабля и дальнейшая стыковка его с марсианским экспедиционным комплексом.

Необходимо заметить, что есть и другие предложения по марсианским маневрирующим аппаратам, которые находятся в составе марсианского экспедиционного комплекса. Находясь в составе экспедиционного комплекса орбите искусственного спутника Марса, данные аппараты могут осуществить экспедицию к спутнику Марса Фобосу с возвращением на орбиту искусственного спутника Марса. Также при возникновении аварийных ситуаций на марсианской базе маневрирующий аппарат может отстыковаться от экспедиционного комплекса и самостоятельно сесть на поверхность Марса.

Важно заметить, что в состав предлагаемого марсианского экспедиционного комплекса входят аппараты возвращения на Землю.

На рис. 12 показана схема спускаемого аппарата возвращения [12] - аппарата класса «Несущий корпус». В отличие от «Союза» и «Апполона» у него не такая притупленная носовая часть.

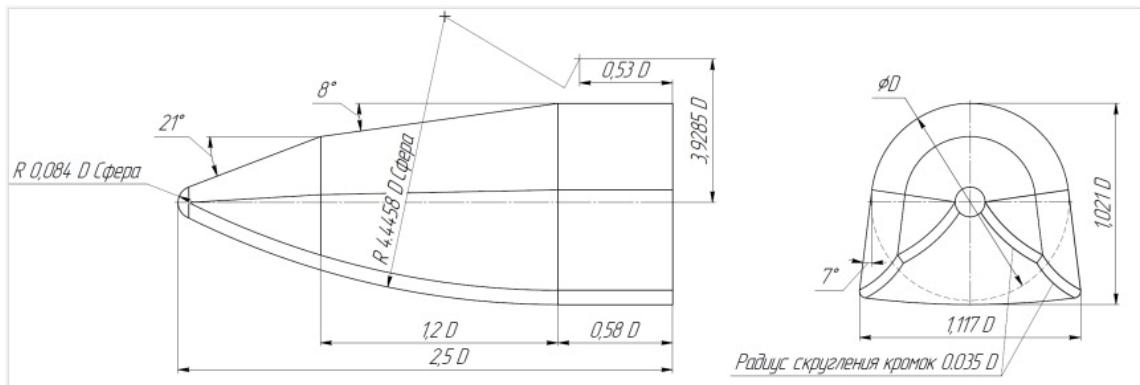


Рис. 12. Схема аппарата возвращения [11].

Аппарат входит с отрицательным качеством, меняет ориентацию, переходит на повышенное качество, управление осуществляется по крену.

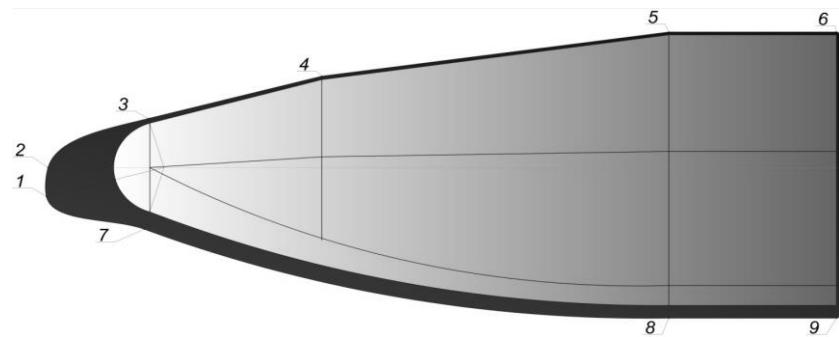


Рис. 13. Схема распределения тепловых потоков.

На рис. 13 отображена схема распределения тепловых потоков. В носовой точке наблюдается повышенный унос, при этом уносимое покрытие не вносит большие корректировки в аэродинамику маневрирующего аппарата. Длина данного аппарата порядка 7–9 м, унос в пределах 100 мм. Необходимо всячески снижать закругление в носовой части, чтобы уменьшить лучистый тепловой поток при входе в атмосферу.

Заключение

Рано или поздно пилотируемая экспедиция на Марс состоится, она поднимет всю человеческую цивилизацию на более высокую ступень развития.

В России есть всё для осуществления полёта человека к Марсу: необходимый интеллектуальный потенциал, уникальный опыт работы по пилотируемым программам, работоспособная промышленность.

Есть все основания рассчитывать, что в ближайшее время давняя мечта землян о полете на Марс осуществится. И это будет не просто полет на Марс и скорое возвращение на землю, а длительная экспедиция с долгосрочным, надёжным пребыванием.

В данной статье предложена методика проектирования этой будущей марсианской экспедиции и показаны методы повышения её надёжности с учетом огромного опыта проектирования и новых разработок. В частности, рассмотрена новая форма марсианского корабля класса «несущий корпус», позволяющая осуществить вход в атмосферу Марса, посадку на его поверхность с высокой надёжностью и возможностью спасения экипажа на любом этапе экспедиции при возникновении аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Циолковский К. Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами // Научное обозрение. 1903. №5. С 44–73.

2. Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева. М.: Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.
3. Бугров В. Е. Марсианский проект С. П. Королёва. М.: Фонд «Русские Витязи», 2009. 316с.
4. Молодцов В. А. Пилотируемые космические полёты в XX веке. М.: «Автор-онлайн», 2022. Том 1. 476 с.
5. Семенов Ю. П., Лопота В. А. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва 1946–1996 (Кн. 1). Королев: РКК «Энергия», 1996. 675 с.
6. Горшков Л. А., Синявский В. В., Стойко С. Ф. Межпланетные проекты С. П. Королёва и их развитие в РКК «Энергия» / В кн.: История развития отечественной пилотируемой космонавтики. М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2015. С. 253–273.
7. Соловьев Ц. В., Тарасов Е. В. Прогнозирование межпланетных полётов. М.: Машиностроение, 1973. 400 с.
8. Безяев И. В., Стойко С. Ф. Обзор проектов пилотируемых полетов к Марсу // Космическая техника и технологии. 2018. №3(22). С. 1–30.
9. Аржаников Н. С., Садекова Г. С. Аэродинамика летательных аппаратов. Москва, Высшая школа, 1983. 359 с.
10. Краснов Н. Ф., Захарченко В. Ф., Кошевой В. Н. Основы аэродинамического расчёта. М.; Высшая школа, 1984. 264 с.
11. Елисеев А. Н., Миненко В. Е., Якушев А. Г., Агафонов Д. Н. Проектный, аэродинамический и термобаллистический анализ спускаемого аппарата класса «Несущий корпус» // Наука и образование. 2015. №10. С. 88–125.
12. Болотин В. А., Миненко В. Е., Решетин А. Г., Скотников А. П., Щукин А. Н. Патент 2083448/RU. Космический аппарат для спуска в атмосфере планеты и способ спуска космического аппарата в атмосфере планеты. Заявка 05.08.1994. Опубл. 10.07.1997. Бюл. № 19. 18 с.

Майборода Александр Олегович
Ведущий научный сотрудник,
Международный центр эвереттических исследований
г. Москва
mayboro@gmail.com
Mayboroda Alexander Olegovich
Leading Researcher,
International Center for Everett Studies
Moscow
mayboro@gmail.com

ВОЗМОЖНЫЕ РОССИЙСКИЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ

POSSIBLE RUSSIAN INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR INTERPLANETARY INTERNATIONAL EXPEDITIONS

Аннотация. Перелет к Марсу требует решения ряда проблем: защита от космической радиации; защита от резкого перехода от невесомости к перегрузкам и марсианской гравитации; радикальное сокращение затрат на вывод грузов в космос. Решения для случая группового полета: ракетная эскадра соединяется в пакет и образует защиту вокруг жилых помещений; для защиты от резкого перехода к состоянию весомости, перед посадкой формируется тросовая центрифуга, в которой для адаптации постепенно наращивается сила тяжести; для сокращения затрат на заправку топливом используется групповая посадка вторых ракетных ступеней с общим тепловым щитом, чем достигается полная многоразовость без создания сверхтяжелого носителя. Рассматриваются также другие перспективные новации.

Abstract. A flight to Mars requires solving a number of problems: protection from space radiation; protection from a sharp transition from zero gravity to overloads and Martian gravity; radical reduction in the costs of launching cargo into space. Solutions for a group flight: the rocket squadron is joined into a package and forms a shield around the living quarters; to protect against a sharp transition to a state of gravity, a cable centrifuge is formed before landing, in which gravity is gradually increased for adaptation; to reduce the costs of refueling, a group landing of the second rocket stages with a common heat shield is used, which achieves full reusability without creating a super-heavy carrier. Other promising innovations are also being considered.

Ключевые слова: Марс, межпланетный космический корабль, космическая эскадра, радиационная защита, искусственная гравитация, реабилитация космонавтов, тепловая защита, многоразовая ракетно-транспортная система, промышленные ядерные заряды.

Keywords: Mars, interplanetary spacecraft, space squadron, radiation protection, artificial gravity, astronaut rehabilitation, heat protection, reusable rocket and transport system, industrial nuclear charges.

Введение

Пилотируемая экспедиция на Марс, возможная в следующем десятилетии как международный проект, однако может осуществляться без участия России если отечественная космонавтика не обеспечит существенный технологический вклад в первую и последующие экспедиции. США и КНР вышли на передовые позиции в деле создания тяжелых многоразовых ракет-носителей, тогда как РФ еще не имеет аналогичных технологий, и потому даже при допуске к участию в экспедиции в лучшем случае будет выполнять вспомогательные второстепенные функции.

Что Россия может предложить компании *SpaceX*, чтобы стать партнёром? Для обеспечения равноправного положения среди участников международной экспедиции, Россия должна, во-первых, предложить прорывные технологии, например, в области нерешенных проблем защиты экипажа от космической радиации и длительной невесомости, и, во-вторых, найти ассиметричный ответ технологии полностью многоразовых супертяжелых носителей для организации недорогих больших грузопотоков на орбиту до создания собственных многоразовых супертяжей. Иными словами, российская космическая отрасль должна совершить так называемое «экономическое чудо» – совершить рывок к рентабельной космической деятельности. Возможно ли это?

Закон неравномерности развития стран допускает вероятность такого прорыва. После Второй мировой войны закон неравномерности технологического и соответственно экономического развития стран проявлял себя в феноменах, которые называли «экономическим чудом». Экономическое чудо продемонстрировали Германия (ФРГ), Япония, Южная Корея и некоторые другие страны. Главным экономическим чудом стало чрезвычайно динамичное развитие Китая. По данным МВФ, в 1980 году на Китай приходилось 1,79% мирового ВВП, а в 2020 году доля Китая в мировом ВВП поднялась до 17,48%, почти догнав долю США [1].

Причин неравномерности развития много, но основной причиной рывка для отстающих стран становится возможность сразу перейти к новейшим передовым технологиям без повторения медленного и ресурсозатратного движения более развитых

стран на пути к этим передовым технологиям. К примеру, для создания в развивающихся странах железнодорожной сети нет необходимости строить и изготавливать паровозы, а для развития воздушного сообщения – строить самолеты-этажерки. В мировой космической отрасли также имеются новации, обращение к которым даст национальным экономикам значительную экономию средств благодаря перешагиванию устарелых технологий.

Такие спящие революционные новации имеют статус «черного лебедя» по терминологии математика и экономиста Нассима Талеба, автора бестселлера «Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости» (2007). Они хорошо известны специалистам, но им не придают должного значения. Однако, когда они реализуются и становятся революционным фактором для бизнеса, общества или экономики в целом, то производят впечатления неожиданного и непредсказуемого события, образно говоря внезапно «выскочившего из ниоткуда, как черт из табакерки». По существу, все значимые научные открытия, технологические достижения, взлеты и падения в экономике и политические события — события типа «черный лебедь». Не смотря на скепсис Талеба относительно возможностей прогнозирования будущих событий, его концепция тем не менее вооружает экспертов инструментами по обнаружению потенциальных «черных лебедей». Теоретическая космонавтика к настоящему времени успешно вырастила стаю возможных «черных лебедей» — выпуск такой стаи в космос может стать вкладом России в международное сотрудничество.

Революционным образом меняется и ситуация с источниками финансирования пилотируемой космонавтики. Роль государства изменяется. Главный лидер мировой космической отрасли — компания *SpaceX*, в основу бизнес-модели пилотируемых полетов на Марс ставит финансирование не из государственного бюджета, а из карманов физических лиц, покупателей транспортных услуг по перемещению с Земли в марсианские поселения. Радикальное сокращение стоимости межпланетных перелетов (до 200 тыс. долл. на пассажира) на несколько порядков понижает порог доступа частных лиц в группу заказчиков. Число таких потенциальных клиентов *SpaceX* исчисляется миллионами.

Появление рынка на транспортные космические услуги для частных лиц создаст благоприятные возможности для финансирования российской космонавтики, отвязывания от госбюджета, преобразования ее в высокорентабельную отрасль и выстраивания параллельной схемы полетов на Марс, независимо от наличия или отсутствия соглашения со *SpaceX*, то есть обретения экономического суверенитета национальной космонавтики. Основная клиентская база — страны БРИКС.

По оценкам *Bloomberg Economics*, к 2040 году общий ВВП стран группы БРИКС составит около половины от мирового и вдвое превысит показатели «Большой семерки»

(G7) [2]. Это означает, что Россия и страны, отставшие в освоении устаревших космических технологий при переходе на никем еще не освоенные новейшие передовые технологии, получат равные стартовые условия с бывшими космическими лидерами. По меньшей мере космическая гонка будет идти уже без значительного отрыва участников технологического соревнования друг от друга. Такая ситуация благоприятна для установления равноправного партнерства при организации межпланетных перелетов. Без суверенного доступа в космос на основе собственных передовых технологий, Россия не получит статус равноправного партнера.

Составной межпланетный корабль – решение проблемы защиты экипажа от радиации

Во время полета на Марс человек получит дозу космической радиации, которая составляет около 60% от предельно допустимой. Большая часть излучения в космосе приходится на галактические космические лучи, и крайне малая «остается» на излучение Солнца. Биологическое действие галактических лучей более тяжелое чем у солнечной радиации. В результате воздействия галактических лучей на головной мозг космонавты, летящие на Марс, могут потерять координацию и память уже в полете.

«Пилотируемый полет на Марс при существующей технике – билет в один конец. С космической радиацией, особенно галактической, не умеют и не могут бороться», — констатирует академик Лев Зеленый, научный руководитель ИКИ РАН [3].

В 2014 году NASA запустило Reducing Galactic Cosmic Rays Challenge, интенсивный конкурс с призом в 12 000 долл., которыми будут поощрены лучшие идеи по снижению воздействия на космонавтов галактических космических лучей. После первого конкурса в апреле 2014 года последовал еще один в июле с общим призовым фондом уже в 30 000 долларов за идеи, связанные с активной и пассивной защитой [4]. НАСА продолжает искать способы уменьшить воздействие галактических космических лучей (GCR) на астронавтов во время длительных миссий в дальний космос. В настоящее время воздействие GCR ограничивает продолжительность миссии примерно 150 днями, в то время как миссия на Марс займет 500 дней. Таким образом, любые дальнейшие значимые миссии человека по исследованию дальнего космоса, в т.ч. успешное путешествие на Марс, зависят от поиска решения этой проблемы.

Нормативы по допустимому радиационному воздействию были ужесточены, что привело к переоценке осуществимости полета на Марс. Считается, что радиационная нагрузка за весь период экспедиции нанесет непоправимы вред здоровью космонавтов [5;6]. Соответственно появились предложения по снижению радиационной нагрузки. В их числе

– медикаментозные, генетические и протезно-хирургические средства защиты организма, создание электромагнитной защиты кораблей, использование водяного балласта для экранирования протонной радиации, применение реголита астероидов в качестве антирадиационных экранов, сокращение времени перелета с 8-9 месяцев до 2-3 месяцев. Есть решения, основанные на отрицании объективности норм радиационной нагрузки, которые допускают длительность полета до 9 месяцев по-экономически выгодой траектории Гомана, однако не учитывающие полную физическую беспомощность космонавтов после посадки на Марс из-за деградации мышц, костей и других органов в условиях многомесячной невесомости.

Из перечисленных направлений, наиболее реальное и продвинутое – это сокращение в несколько раз времени перелета. Разработчик – компания *SpaceX*. Однако, здесь возникают новые риски – высокая скорость вхождения в разряженную атмосферу Марса с высокой ценой ошибки. Также в несколько раз сокращается масса полезной нагрузки, что повышает удельную стоимость экспедиции. Согласно планам *SpaceX*, межпланетные экспедиции должны быть групповыми – при низкой стоимости запусков многоразовых кораблей возможна отправка эскадры, состоящей из *десятков* и *сотен* кораблей. При этом, старт с околоземной орбиты каждым кораблем осуществляется не единовременно, а поочередно, с большими интервалами во времени и в пространственном расположении.

Решение *SpaceX* не является рациональным – возможен иной способ осуществления групповых перелетов. Способ получил название проект *Testudo* [7; 8]. Наиболее экономным, технически реализуемым и максимально безопасным будет группировка кораблей в пакет на этапе перелета от Земли к Марсу, создание единого большого корабля из кораблей выводимых поочередно на орбиту ожидания.

Корабли поочередно выводятся на околоземную орбиту, дозаправляются топливом и группируются в пакеты на орбите, или после одновременного старта к Марсу во время полета. Корабли с обитаемыми отсеками размещаются в середине пакета из грузовых кораблей. Таким образом, экипаж получает полную защиту топливными баками ракет толщиной в несколько метров. Такой экран поглощает не только солнечное протонное излучение, но выдерживает и поток тяжелых галактических частиц и вторичного излучения, генерируемого поверхностным слоем топливных баков.

На рис. 1 и 2 показаны принципиальные схемы сборки пакетов для кораблей *Starship*. При использовании ракет-носителей сверхтяжелого типа, разрабатываемых в КНР и США, минимальная толщина защиты – до 9 м.

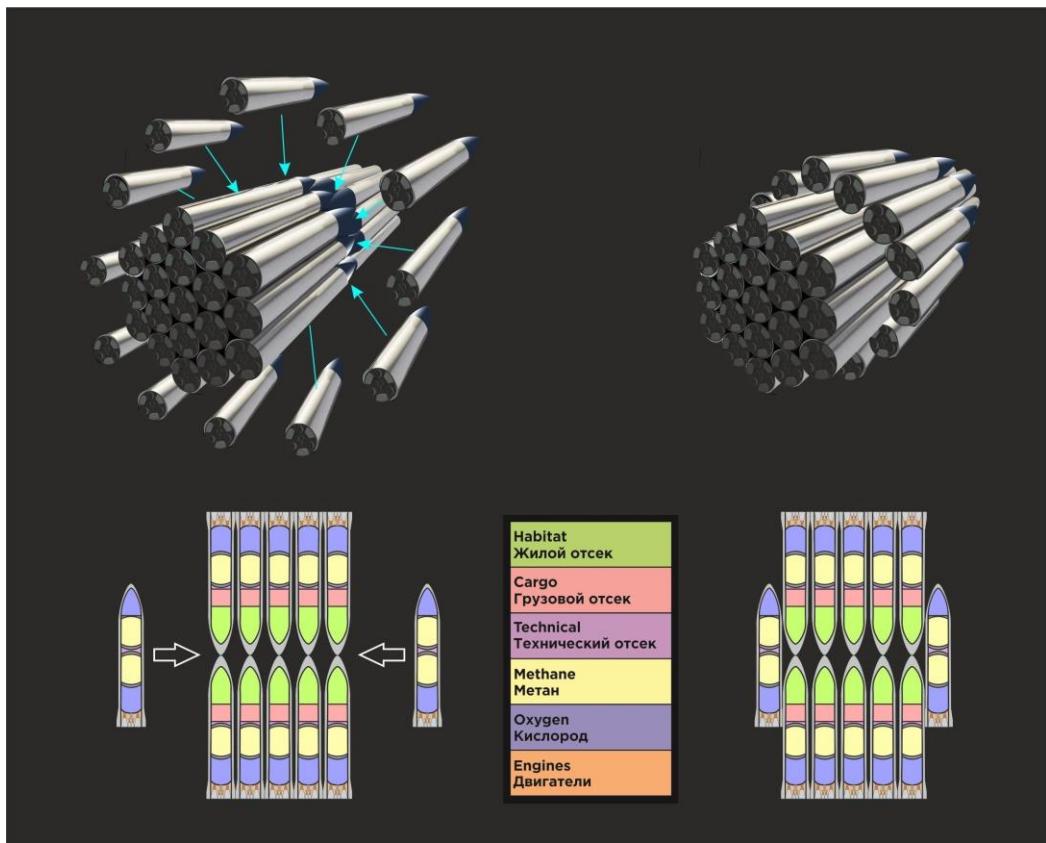


Рис. 1. Пакетная схема для SpaceX. Составной межпланетный корабль с полной защитой от космической радиации. Источник: (Майборода, 2022) [9].

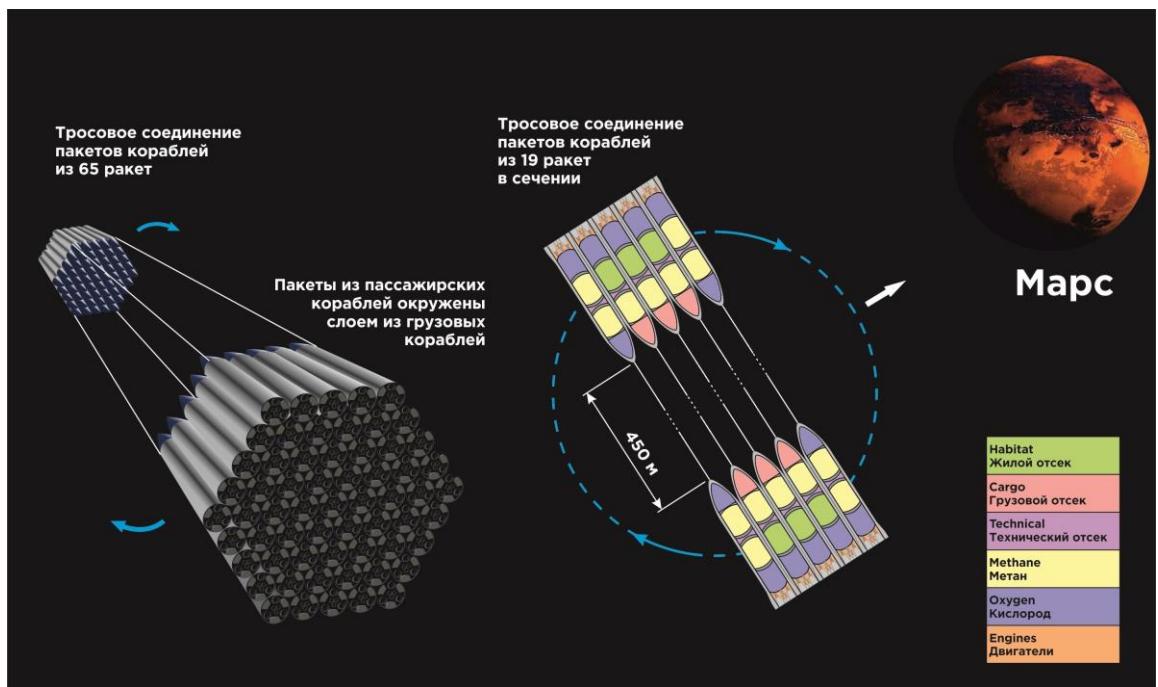


Рис. 2. Пакетная схема для SpaceX и реабилитационная центрифуга на орбите Марса. Источник: (Майборода, 2021) [7].

На рис. 3 показана конфигурация пакета для российских кораблей средней грузоподъемности. В процессе сбора ракетного пакета обитаемые модули отсоединяются от ракетных блоков и стыкуются, образуя единый обитаемый блок. Вокруг обитаемого блока группируются ракетные блоки (ступени). Такая конфигурация предполагает минимум шесть кораблей. При добавлении торцевых ракетных блоков обитаемый блок получает полную защиту от радиации. Оптимальной конфигурацией является конструкция со вторым слоем ракетных блоков вокруг первых шести блоков. Результирующая численность ракет – 12 штук, включая 10 обитаемых модулей в середине пакета в виде единого цилиндра и 2 взлетно-посадочных модуля по торцам пакета. Соответственно создается антирадиационная защита толщиной от 4 до 8 м, при использовании ракет-носителей типа «Союз-5» («Иртыш») и «Союз-7» («Амур-СПГ»).

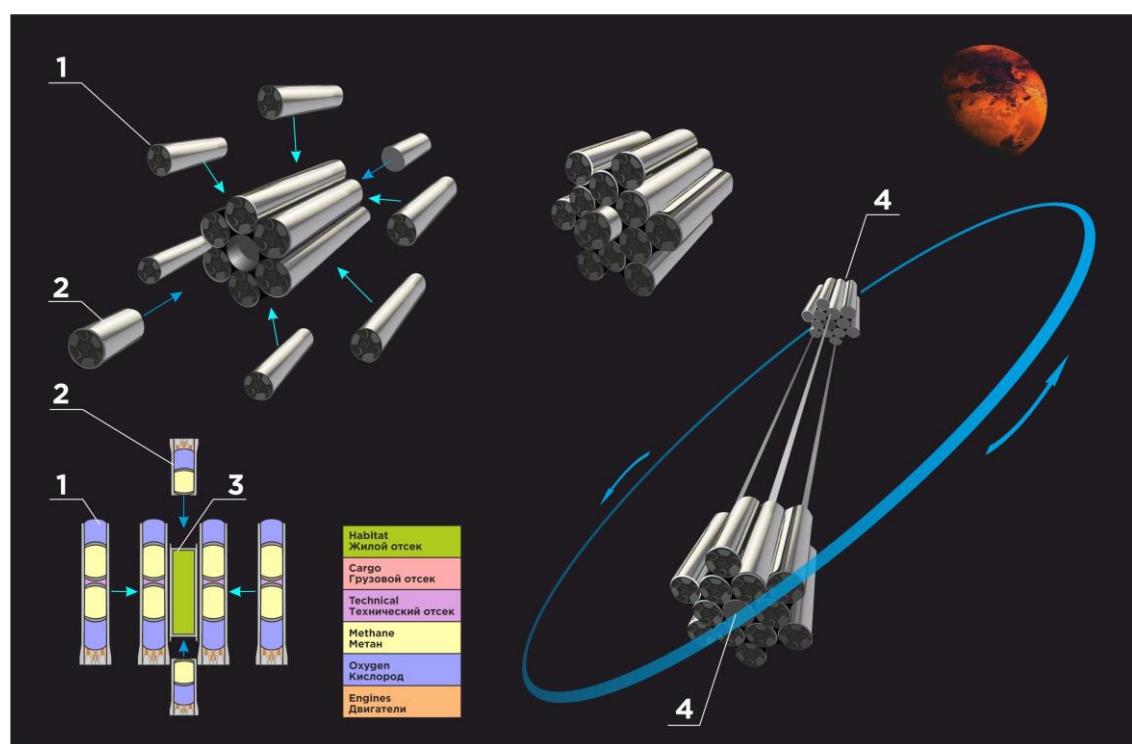


Рис. 3. Пакетная схема для кораблей России. Составной межпланетный корабль и реабилитационная центрифуга на орбите Марса: 1 – ракетная ступень – один из 12 боковых ракетных блоков; 2 – ступень взлетно-посадочного модуля – один из 2-х торцевых ракетных блоков; 3 – центральный блок – жилой отсек; 4 – жилой отсек в составе тросовой центрифуги, создающей искусственную силу тяжести (Майборода, 2025).

Полноценная защита от радиации позволяет использовать экономную траекторию Гомана. Длительность перелета увеличивается до 8–9 месяцев, но многократно возрастает и полезная нагрузка. В результате сокращения затрат скорости корабля масса груза, доставляемого к Марсу, увеличивается со 100 до 500 т, что сокращает стоимость перелета

каждого пассажира [9]. С 200 тыс. долл. стоимость межпланетного билета может сократиться до 50–100 тыс. долл.

Переход с межпланетной траектории на орбиту Марса в этом случае возможен в результате ракетного тормозного импульса, вместо опасного торможения в атмосфере. При использовании отдельно посадочного модуля или их группы, имеющейся запас топлива достаточен для старта с орбиты Марса и перелета на Землю или околоземную орбиту. Переход на околоземную орбиту с межпланетной траектории осуществляется за счет бортовых запасов топлива и не требует применения сложной и ненадежной тепловой защиты.

Центрифуга из связки кораблей – возможность реабилитации экипажа после длительной невесомости перед посадкой на Марс

Перелет длительностью до 9 месяцев, даже при наличии на борту составного корабля компактных центрифуг с коротким плечом, вводит организм космонавтов в состояние, которое после посадки на планету, требует внешней помощи. Минимум через неделю, после возвращения с МКС, космонавты обретают способность к самостоятельным действиям.

Реальное восстановление сил требует еще большего времени. Однако, на Марсе в первой экспедиции не будет «наземной» команды поддержки, которая извлечет космонавтов из посадочных модулей и будет обслуживать в течении минимум одной недели – кормить и обеспечивать санитарное и медицинское обслуживание.

Решение проблемы видится в том, что минимум за одну неделю перед посадкой, корабли выводятся на околомарсианскую орбиту, соединяются попарно тросами и постепенно, раскручиваются, обеспечивая плавный переход от микрогравитации к силе тяжести, равной силе марсианского тяготения. В течении постепенного наращивания силы искусственного тяготения космонавты сохраняют способность к деятельности по самообслуживанию и работе с бортовым оборудованием. По достижению удовлетворительного состояния космонавтов, осуществляется посадка на планету. На рис. 2 и 3 показана тросовая центрифуга на орбите Марса, обеспечивающая реабилитацию космонавтов после длительного пребывания в состоянии невесомости.

Полностью многоразовый носитель средней грузоподъемности для подготовки старта межпланетного корабля

По словам экс-главы Роскосмоса Юрия Борисова космонавтика России сильно отстала: «Я скажу такую крамольную вещь. Это моя личная точка зрения. Мы, как и с многоспутниковой группировкой [типа Starlink], проспали немного старт очередного

интереса к Луне. И Америка, и Китай опережают нас в этом направлении. Чтобы лететь к Луне и говорить о серьезной экспансии в этом направлении, нужно иметь сверхтяжелый носитель. У нас этого носителя нет» [10]. В интервью РБК 23 декабря 2024 г. Юрий Борисов сообщил: «Дело в том, что в текущем варианте Федеральной космической программы у нас не предусмотрено создание сверхтяжелого носителя даже в планах. У нас ведутся работы задельные по отработке различного рода технологий, которые будут положены в основу сверхтяжелого носителя. А планы по созданию сверхтяжелого носителя по указу президента будут реализованы в отдельном федеральном проекте, старт которого определен с 2026 года. Конечно, мы будем работать и работаем сегодня, продолжаем работу над основными решениями для сверхтяжажа, потому что исследования дальнего космоса, проведение научных экспериментов, полеты к дальним планетам без сверхтяжелого носителя невозможны. Не скрою, это не дешевое мероприятие» [11].

Речь о российской тяжелой ракете, которая ранее фигурировала под названиями «Енисей» и «Дон» [12]. Работы над ее проектированием были остановлены в начале 2021 года. По словам Борисова, на создание российской тяжелой ракеты уйдет 8–10 лет.

Итак, полеты к дальним планетам без сверхтяжелого носителя невозможны, но раньше 2026 года работа по реализации планов не начнется. Выход сверхтяжёлой ракеты на лётные испытания запланированы на 2033 год. Вероятно, потребуется несколько лет, чтобы сверхтяжелый носитель встал в строй и начал эффективно эксплуатироваться. Итого минимум 10 лет простоя в освоении космических ресурсов. Как далеко за это время вырвутся вперед США и Китай? Какое равноправное партнерство тогда возможно при освоении Марса и ресурсов других небесных тел?

С высокой степенью вероятности на пути копирования и повторения уже реализованных технологических решений конкурентов, Россия никогда не нагонит лидеров космической гонки – они будут идти с отрывом в 10 лет. Для рывка требуются прорывные технологии. Принцип неравномерности технологического развития стран позволяет утверждать, что такой сценарий резкого ускорения возможен.

Конечно, сверхтяжелый носитель создавать необходимо, что обойдется в эквивалент порядка двух млрд долл., но следует обратить внимание на дополнительные возможности, если Россия желает успеть присоединиться к космическому клубу разработчиков внеземных ресурсов. Полагаем, что такие возможности имеются. Рассмотрим один из таких вариантов.

При увеличении размеров ракеты доля сухой массы в стартовом весе сокращается, поэтому супертяжелый носитель может иметь многоразовую вторую ступень, в отличие от носителя средней грузоподъемности. Здесь проявляется фактор масштаба – доля тепловой защиты в массе второй ступени снижается по мере увеличения массы и габаритов ступени,

и, соответственно, увеличивается при переходе к более легким и малогабаритным ступеням. Для вторых ступеней типовых ракет масса теплозащиты будет настолько велика, что весь выигрыш от многоразовости будет «съеден» уменьшением массы полезной нагрузки.

Как правило все новое – это хорошо забытое старое. Если провести ревизию архивов теоретической космонавтики, то можно обнаружить концепции, после доработки подходящие для решения настоящей задачи.

Рассматриваемая задача решается использованием фактора увеличения масштаба не для одиночной ракетной ступени, а для их группы на орбите, путем их соединения в пакет с общим тепловым щитом. Фрагменты щита доставляются на орбиту сразу одной ракетой или по частям ракетами, ступени которых в последующем группируются перед возвращением. Эти приемом достигается *сокращение доли теплозащиты в массе каждой ракеты*. На рис. 4 показана сборка вторых ступеней на орбите и их спуск с общим тепловым щитом.

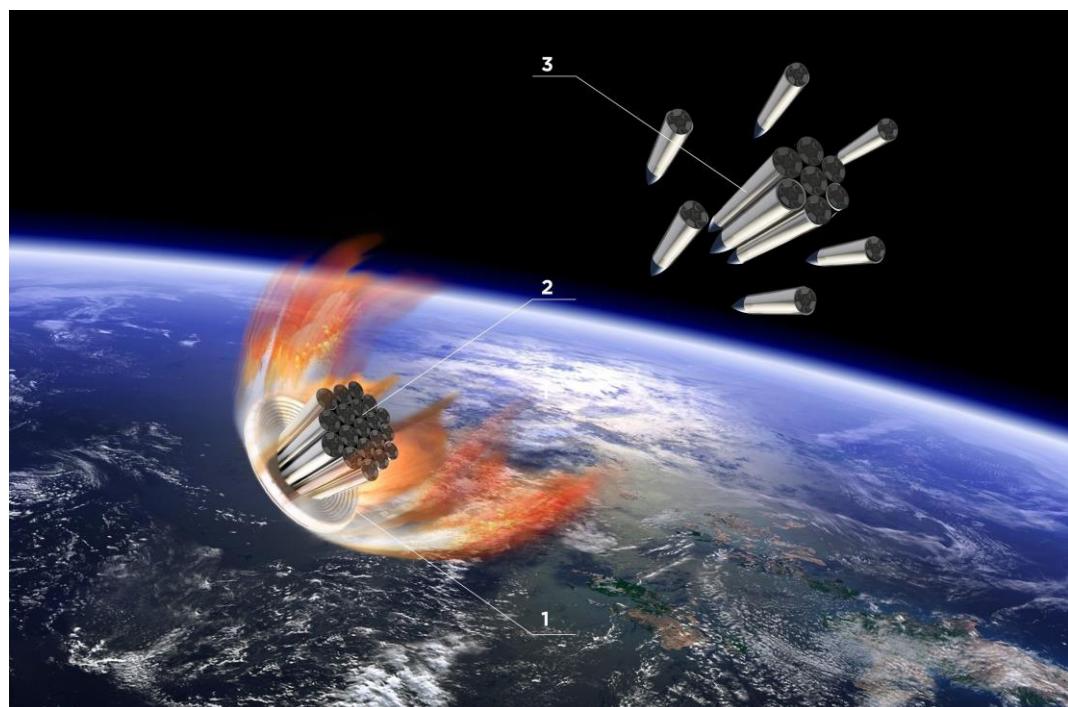


Рис. 4. Принцип сокращения удельной массы теплозащиты вторых ступеней РН за счет использования общего теплозащитного экрана для ракетного пакета: 1 – аэродинамический теплозащитный экран; 2 – пакет вторых ступеней ракет-носителей в процессе спуска с орбиты; 3 – пакет вторых ракетных ступеней на этапе сборки перед соединением с общим защитным экраном. (Майборода, 2025).

Так может быть создана полностью многоразовая система на базе средних по грузоподъемности ракет. Это решение вполне применимо к разрабатываемой многоразовой двухступенчатой РН среднего класса на метановом двигателе «Союз-7» (ранее «Амур-СПГ», «Союз-СПГ»), которая после 2026 года сможет заменить всё семейство ракет-

носителей «Союз-2». Таким образом возможна полностью многоразовая, не дорогая система, необходимая для формирования экспедиционного комплекса на околоземной орбите. Большая часть РН «Союз-7» в полном многоразовом варианте будет использоваться в основном в качестве танкеров для заправки межпланетных кораблей. Топливо заправочные услуги могут оказываться как отечественным потребителям, так и иностранным компаниям, включая SpaceX.

Исходя из усреднённых табличных данных можно предварительно оценить экономический эффект от внедрения пакетной схемы возвращения вторых ступеней ракет среднего класса, дополнительно к возвращению первой ступени.

Затраты на запуск (C_3) *полностью* многоразовой ракеты-носителя определяются как сумма затрат на разработку, изготовление, выполнение полета и страхование ракеты-носителя с учетом количества произведённых ракет и числа многократного использования:

$$C_3 = (C_p/K)/M + C_{i1}/M + C_{i2}/M + C_3/M + C_{\pi} + C_c, \quad (1)$$

где C_p — полные затраты на разработку ракеты-носителя, K — количество изготовленных ракет; M — число многократного использования ракет; C_{i1} — затраты на изготовление 1-й ступени ракеты-носителя; C_{i2} — затраты на изготовление 2-й ступени ракеты-носителя; C_3 — затраты на изготовление теплового экрана 2-й ступени; C_{π} — затраты на обеспечение полета; C_c — затраты на страхование ракеты носителя.

Затраты на запуск (C_3) *частично* многоразовой ракеты-носителя типа определяются более простым уравнением:

$$C_3 = (C_p/K)/M + C_{i1}/M + C_{i2} + C_{\pi} + C_c, \quad (2)$$

Возможные значения величин уравнений (1) и (2) для ракеты типа *Falcon 9*: C_p — \$1000 млн; K — 100 ракет; M — 50 запусков; C_{i1} — \$75 млн; C_{i2} — \$25 млн; C_3 — \$10 млн; C_{π} — \$1 млн; C_c — \$4 млн. Тогда стоимость запуска *частично* многоразовой ракеты C_3 равна \$31,7 млн., а стоимость запуска *полностью* многоразовой ракеты C_3 равна \$7,4 млн, что 4,3 раза меньше. С учетом эффекта от сохранения второй ступени 4,5 пуска окупают затраты на изготовление одного *полностью* многоразового носителя.

Дополнительные инновационные ресурсы теоретической космонавтики

Возможные инновации, способные значительно продвинуть Россию в космической гонке и сделать ее равноправным партнёром лидирующих ныне держав, не исчерпываются выше рассмотренным примером. Рассмотрим некоторые имеющиеся проекты.

Более значительный экономический эффект даст технология использования внешних ресурсов, применяемых для разгона суборбитальных ракет (или грузовых капсул) до первой космической скорости за счет кинетической энергии искусственно создаваемых потоков,

ранее накопленных на орбите масс. Потенциальная энергия вещества преобразуется в кинетическую при сбросе в гравитационный колодец Земли. Удары порций вещества низкой плотности (около $0,1\text{--}1 \text{ кг}/\text{м}^3$) в абляционную плиту на корме корабля создают силу, которая разгоняет аппарат до орбитальных скоростей. Проект называется *SatPush* [13; 14; 15; 16].

Источником ускоряющих масс в системе *SatPush* могут быть запасы вещества астероидов, Луны или искусственно созданные на орбите запасы, выведенные с Земли многоразовыми ракетами. В последнем случае эффект достигается тем, что для вывода на орбиту больших квантов грузов не требуется применение ракет супертяжелого класса. От замены космических ракет суборбитальными ракетами достигается выигрыш в увеличении в 10 и более раз массы полезного груза на ракете. Применительно к уже снятой с производства, но еще эксплуатируемой ракете «Протон» это означает возможность вывода до 246 т вместо 23,7 т груза. Применительно к ракете «Союз-7» на орбиту будет доставляться до 126 т, то есть больше, чем супертяжелым носителем компании *SpaceX*. Однако если эту схему применить к ракете *Starship*, то на орбиту можно будет выводить квант груза массой до 1750 т. Поэтому эксплуатация системы *SatPush* имеет смысл и после создания российского супертяжелого носителя.

При использовании практически даровых ресурсов астероидов или Луны, сбрасываемых в гравитационный колодец Земли, многоразовая суборбитальная ракета за счет увеличения грузоподъемности даст снижение затрат почти в 10 раз по сравнению с полностью многоразовой ракетой и в 35 раз по сравнению с частично многоразовой ракетой. На Рис. 5 показана схема вывода грузовых аппаратов за счет внешних ресурсов – кинетической энергии искусственно создаваемых орбитальных потоков.

В резерве у России имеется еще одна технология, которая способна полностью перезапустить космическую гонку и обнулить предыдущие достижения, достигнутые на базе старых космических технологий. Самой эффективной технологией, способной по-настоящему революционизировать космонавтику является технология добычи компонентов ракетного топлива при помощи ядерной энергии, предложенная ученым-ракетчиком с мировой известностью Краффтом Арнольдом Эрике (1917–1984), пионером теоретической и практической космонавтики. Эрике – автор фундаментальной работы по индустриализации Луны, в которой исследовал вопросы формирования энергетического сектора лунной индустрии. Эрике предложил технологию создания искусственных месторождений газообразного кислорода в недрах Луны посредством термолиза базальта при помощи промышленных ядерных зарядов [17, с. 175–179].

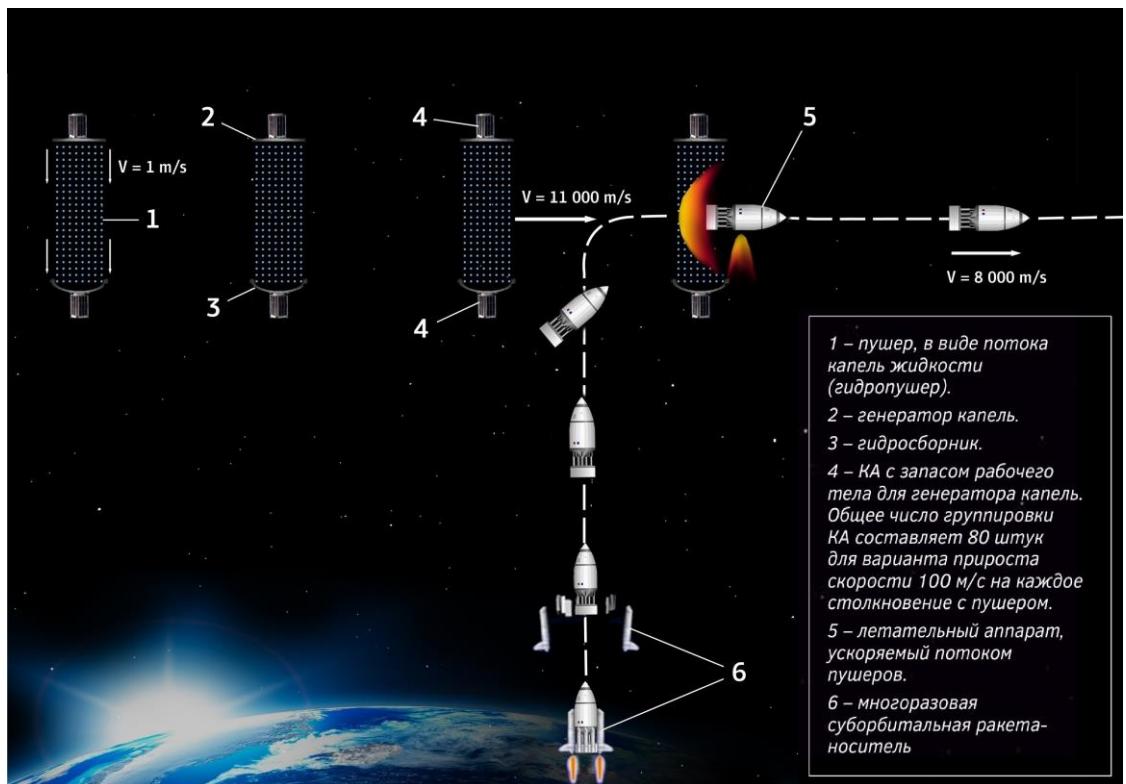


Рис. 5. Проект *SatPush*. Ускорение космического корабля дискретным гиперзвуковым потоком вещества (высота 120 км). Источник: (Майборода, 2018) [13].

Необходимо заметить, что подземные промышленные взрывы разрешены действующими международными соглашениями – договор о промышленных взрывах подписан в 1974 году и ратифицирован СССР и США в 1990 году [18; 19]. Запрет на вывод в космос касается только военных ядерных зарядов – на промышленные заряды запрет не распространяется. При этом у России имеется большой и уникальный опыт применения промышленных ядерных зарядов – в США было осуществлено 27 мирных ядерных взрывов, а в СССР проведено 124. Россия является также лидером в разработке и создания так называемых чистых термоядерных зарядов промышленного назначения.

Современные теоретические исследования показывают, что на каждые 8 Мт мощности ядерного заряда в «подземном» пространстве генерируется до 1 млн т кислорода [20; 21]. Кислород обладает высокой устойчивостью к наведённой радиоактивности среди других химических элементов. Газ из лунных месторождений можно откачивать, сжижать и заправлять им космические корабли за пределами Земли, в космическом пространстве. Аналогичным способом выгодно добывать кислород на Марсе.

Энергия ядерного заряда самая дешевая – стоимость увеличения мощности боеприпаса в ценах 1950 финансового года составляла 60 центов за одну килотонну тротилового эквивалента [22], что в пересчете на современные цены дает 60 долл./кт. Стоимость ядерного промышленного заряда в широком диапазоне мощности составляет в

среднем около 1,5 млн долл. Поэтому подрыв в инопланетных недрах пары зарядов суммарной мощностью 800 кт, согласно технологии Краффта Эрике, даст на выходе сотню тысяч тонн кислорода и еще больше раскисленных кремния с металлами при затратах около 3 млн долл. Издержки на кислород составляют 0,03 долл./кг, а с учетом металло-кремниевой смеси себестоимость продукта – 0,012 долл./кг. С учетом неполного выхода продукта, дополнительных расходов на создание скважины и доставку оборудования затраты на конечную продукцию ядерного термоядерса составят около 1 долл./кг. Это революционное изменение условий космической деятельности [16].

На Луне и Марсе могут использоваться полностью чистые термоядерные заряды, то есть заряды, не содержащие расщепляющихся инициаторов термоядерной реакции. Принципиальная схема: термоядерная реакция инициируется рентгеновским лазером с накачкой ядерным взрывом, который располагается за пределами небесного тела, в космосе [23]. На Рис. 6 показана схема экологически безопасного ядерного майнинга.

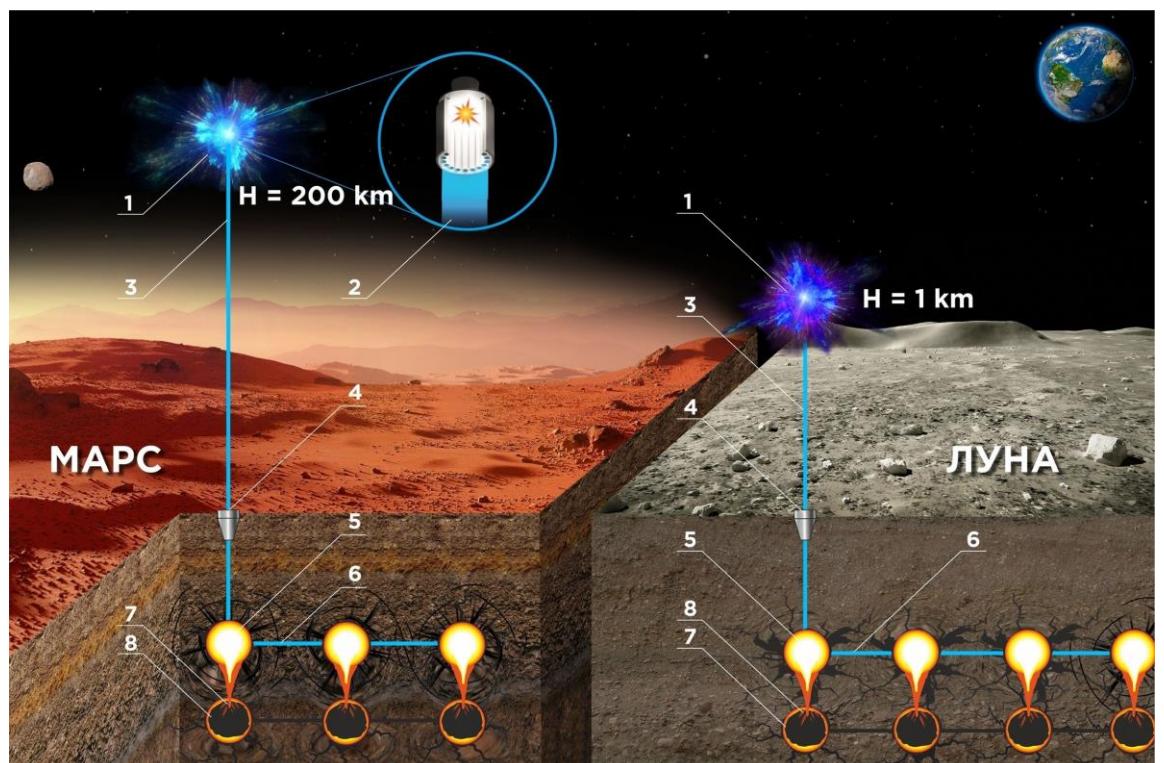


Рис. 6. Схема осуществления чистых термоядерных взрывов. 1 – термоядерный взрыв накачки рентгеновского лазера; 2 – рентгеновский лазер; 3 – лазерный луч; 4 – ретранслятор; 5 – взрыв чистого термоядерного заряда, оснащенного рентгеновским лазером; 6 – лазерный луч, сгенерированный подземным лазером, в подземном канале, инициирующий взрыв другого заряда-лазера; 7 – прорыв плазмы (O_2 , Si, Fe, Al) и холодного раздробленного базальта из верхней каверны в нижнюю; 8 – каверна от предыдущего взрыва (Майборода, 2025) [24].

В перспективе просматривается использование абсолютно чистых термоядерных зарядов, например, основанных на реакции «водород-бор», которая не дает выхода нейтронов. Эта реакция требует температуры на порядок большей, чем для реакции на основедейтерия и трития. Однако то, что является проблемой для управляемого термоядерного синтеза, не является таковой для взрывной термоядерной реакции [24]. В связи с тем, что промышленные ядерные заряды, основанные на термоядерном анейтронном синтезе могут инициироваться за счет удаленного в космос рентгеновского лазера с ядерной накачкой, что устраняет радиоактивное заражение в месте промышленного взрыва, на применение таких зарядов не распространяются действующие международные соглашения, которые ограничивают применение обычных ядерных зарядов. Это обстоятельство обеспечивает высокую вероятность революционных изменений в космонавтике в ближайшем будущем и выход России на ведущие позиции в освоении внеземных ресурсов и монетизации технологии ядерного майнинга.

Закладка зарядов в недра небесных тел требует разработки специальных методов создания скважин. Типовые методы бурения требуют значительных затрат времени. Для многократного сокращения затрат и времени пробивки скважин на Луне, ввиду отсутствия у нее атмосферы, целесообразно применить ударно-кинетический способ пробивки, цепью ударников, запускаемых с околоземной орбиты [21, с. 7].

Согласно известному марсианскому проекту предпринимателя Илона Маска, для перемещения с Земли на Марс запланированных объемов грузов и пассажиров (1 млн т и 1 млн. человек), компании SpaceX потребуется 12 млн т ракетного топлива для дозаправки космических кораблей на околоземной орбите. Российская космонавтика, в виду обладания передовыми технологиями в сфере разработки и использования промышленных ядерных зарядов, имеет все основания стать ведущим поставщиком недорого ракетного топлива, выработанного из внеземных ресурсов, для межпланетных кораблей международной космической коалиции.

Выходы и рекомендации

1. Рассмотрена принципиальная схема защиты космонавтов от радиации при межпланетном перелете и способ реабилитации после длительного пребывания в невесомости перед посадкой на Марс. Предложены следующие новации:

- Пакетная схема полной защиты экипажа от космической радиации.
- Дополнительная стадия перелета на Марс – релакс и постепенная (бесстрессовая) адаптация к марсианскому уровню гравитации в тросовой центрифуге большого радиуса перед высадкой на планету.

Предложенные решения соответствует современному научно-техническому уровню и финансовым возможностям государствам-спонсорам экспедиции на Марс. Они даны с учетом планов компании *SpaceX* регулярной отправки эскадры кораблей, а не единичной экспедиции. Они также соответствуют реальным действиям *SpaceX* (к примеру, таким как строительство завода по производству ракет до 1000 штук в год) по организации регулярных массовых пассажиропотоков в тысячи и десятки тысяч человек. Предложенные решения позволяют использовать российские ракеты-носители средней грузоподъемности для оказания коммерческих услуг по трансферу на Марс до завершения НИОКР по созданию российского сверхтяжелого носителя. Таким образом, российская космонавтика сможет войти на рынок услуг по межпланетному трансферу и оказывать услуги самостоятельно, параллельно *SpaceX*, а не только в качестве субподрядчика, получая доход, необходимый для дальнейшего развития национальной космонавтики.

Рекомендуется оба предложения проработать на уровне НИР, а по способу релаксации космонавтов на орбите перед посадкой предложить потенциальным партнерам по экспедиции провести совместные ОКР.

2. Дополнительно рассмотрены следующие предложения по обеспечению межпланетного трансфера:

- Пакетная схема спасения вторых ступеней носителей средней и малой грузоподъёмности – как способ обеспечения полной многоразовости ракет-носителей группы снабжения межпланетного комплекса на околоземной орбите.
- Способ многократного увеличения грузоподъемности ракет-носителей среднего класса до уровня носителей тяжёлого класса, за счёт внешних ресурсов – искусственно создаваемых потоков вещества.
- Способ производства кислорода, кремния и металлов для обеспечения ресурсами международных экспедиций посредством термолиза базальта Луны, Марса и крупных астероидов при помощи экологически безопасных промышленных ядерных взрывов.

Рассмотренная принципиальная пакетная схема создания полностью многоразовой ракетно-транспортной системы может быть реализована до появления у России сверхтяжёлых ракет-носителей и при меньших затратах. Это меняет ситуацию с организацией экспедиции на Марс, а также с созданием лунной базы, – сроки могут быть смещены «влево». При умеренных затратах *Россия получает возможность проводить лунные и марсианские операции синхронно с КНР и США, до ввода в эксплуатацию собственного сверхтяжёлого многоразового носителя*. Компания *SpaceX* создает рынок услуг по межпланетным перелетам и космические компании России теперь смогут принять

участие в получении доходов от работы на этом рынке. Потенциальные клиенты – страны БРИКС. Доходы могут быть реинвестированы в производство многоразовых супертяжелых носителей. Рекомендуется проведение углубленных НИР с выработкой рекомендаций по целесообразности последующих ОКР.

Рекомендуется рассмотренный способ доставки больших квантов грузов в космос за счет внешних ресурсов исследовать при помощи имеющихся компьютерных моделей высокоскоростных ударов, а также провести наземные исследования процесса ускорения на микромоделях космических аппаратов газовыми потоками, генерируемыми кумулятивными зарядами ВВ. Результаты использовать для организации опытов с микромоделями космических аппаратов, выводимыми суборбитальными ракетами, на низкой околоземной орбите, ускоряемых потоками разряженного вещества, создаваемых ИСЗ.

Рассмотренный способ производства кислорода из ресурсов Луны и Марса рекомендуется: исследовать при помощи имеющихся компьютерных моделей подземных ядерных взрывов и в последствии реализовать на Земле на основе уже разработанных «чистых» промышленных термоядерных зарядов; провести исследование перспективы создания зарядов на основе анейтронного термоядерного синтеза; провести сравнительный анализ различных перспективных методов создания скважина на Луне для закладки зарядов; провести опыты по ударно-кинетическому способу создания скважин на Луне цепью высокоскоростных ударников; провести круглый стол с участием зарубежных юристов по правовым аспектам использования невоенных (промышленных) ядерных зарядов для добычи кислорода на Луне, Марсе и крупных астероидах; создать инициативную международную группу из представителей политической элиты и бизнеса для разработки дополнительных положений к соглашениям, которые регулируют использование невоенных ядерных зарядов в космосе и на небесных телах, и продвижению проекта соглашений среди «лиц принимающих решения» в группе ядерных и космических держав; провести презентацию проекта ядерного майнинга внеземных ресурсов среди потенциальных инвесторов из стран БРИКС.

Список литературы

1. Катасонов В. Индия – ремейк Китая. Записал Евгений Иванов // Советская Россия. [Электронный ресурс]. URL: <https://sovross.ru/2023/11/01/indiya-remejk-kitaya/> (дата обращения 12.06.2025).
2. Bloomberg: БРИКС бросит вызов США и их союзникам за счет укрепления экономики // ТАСС. 21 августа 2023. [Электронный ресурс]. URL:

3. Ячменникова Н. Солнечная буря на Марсе. Какое испытание ждет землян на Красной планете // Российская газета за 16 июня 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2024/06/16/uchenye-nazvali-glavnoe-prepiatstvie-dlia-otpravki-liudej-na-mars.html> (дата обращения 12.06.2025).

4. Sarah Douglas. Reducing Exposure to Galactic Cosmic Rays Challenge. NASA. Apr 30, 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nasa.gov/general/reducing-exposure-to-galactic-cosmic-rays-challenge/> (дата обращения 12.06.2025).

5. Коробатов Я. Академик Лев Зеленый о планах Илона Маска по колонизации Марса: «Мы до сих пор не знаем, как защитить экипаж от радиации во время перелета» // Комсомольская правда. 12 .04.2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kp.ru/daily/27591/4917533/> (дата обращения 12.06.2025).

6. Dobynde M.I., Shprits Y.Y., Drozdov A.Yu., Hoffman J. Li, J. Beating 1 Sievert: Optimal Radiation Shielding of Astronauts on a Mission to Mars, Space Weather 2021, DOI: 10.1029/2021SW002749 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unipotsdam.de/en/headlines-and-featured-stories/detail/2021-09-02-flug-zum-mars-simulationen-zeigen-weltraumstrahlung-kann-ausreichend-gut-abgeschirmt-we> (дата обращения 12.06.2025).

7. Майборода А.О. Эффективные способы защиты от космических факторов в межпланетном корабле и внеземной колонии // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 3. С. 32 – 41. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vesvks.ru/vks/article/effektivnye-sposoby-zashchity-ot-kosmicheskikh-fakto-16667> (дата обращения 12.06.2025).

8. Mayboroda A. Protecting crews in interplanetary ships and space colonies from the space environment // Room The Space Journal 2022 #1(31). p 76-81. [Электронный ресурс]. URL: <https://room.eu.com/article/protecting-crews-in-interplanetary-ships-and-space-colonies-from-the-space-environment> (дата обращения 12.06.2025).

9. Майборода А. О. Полёты к Марсу и обратно без дозаправки марсианским топливом // Воздушно-космическая сфера. 2022. № 1. С. 18-29. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vesvks.ru/vks/article/polety-k-marsu-i-obratno-bez-dozapravki-marsianski-16693> (дата обращения 12.06.2025).

10. Борисов заявил, что Россия "немного проспала", когда в мире вновь появился интерес к Луне // ТАСС. 14 апреля 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://tass.ru/kosmos/17527125?utm_source=rkino (дата обращения 12.06.2025).

11. Глава «Роскосмоса» — РБК: «Бесплатная услуга — это разврат» // РБК. 09 декабря 2024. [Электронный ресурс]. URL:

https://www.rbc.ru/interview/technology_and_media/09/12/2024/675671c39a794769f2b2d272
(дата обращения 12.06.2025).

12. Раскрыты характеристики сверхтяжелых ракет «Енисей» и «Дон» // Репортер. 28 апреля 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://topcor.ru/8192-rogozin-raskryl-svezhie-harakteristiki-sverhtjazhelyh-raket-enisej-i-don.html?ysclid=mbuubdzs7s582412401> (дата обращения 12.06.2025).

13. *Майборода А. О.* Система *Satpush*: использование внеземных запасов потенциальной и кинетической энергий для космических запусков // Воздушно-космическая сфера. 2018. №2(95). С. 30-39 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vesvks.ru/public/wysiwyg/files/5-Mayboroda-30-39.pdf> (дата обращения 12.06.2025).

14. *Майборода А. О.* Лунная пыль – в стальные паруса звездолетов // Независимая газета – Наука. 09.04.2024 [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2024-04-09/9_8990_starship.html (дата обращения 12.06.2025).

15. *Майборода А. О.* Как разгонять космические корабли до космических скоростей // Энергия: экономика, техника, экология. 2024. №8, с. 9–15. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukaran.com/s0233-36190000675-0-1/> (дата обращения 12.06.2025).

16. *Майборода А. О.* На кого будут работать гномы Луны и Марса // Независимая газета – Наука. 08.04.2025. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2025-04-08/9_9230_gnomes.html (дата обращения 12.06.2025).

17. *Краффт А. Эрике.* Будущее космической индустрии: Пер с англ. М.: Машиностроение, 1979. 200 с.

18. Договор между Союзом Советских Социалистических Республик и Соединенными Штатами Америки о подземных ядерных взрывах в мирных целях // Министерство иностранных дел Российской Федерации. 28.05.1976. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/international_safety/disarmament/1762541/ (дата обращения 12.06.2025).

19. Договор между СССР и США о подземных ядерных взрывах в мирных целях. Досье // ТАСС. 27 мая 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/info/3319148?ysclid=mbvc23z23w883033616> (дата обращения 12.06.2025).

20. *Майборода А. О.* Ядерная индустриализация Луны // Воздушно-космическая сфера. 2021. №4. С. 68-77. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vesvks.ru/vks/article/yadernaya-industrializaciya-luny-16685> (дата обращения 12.06.2025).

21. *Майборода А. О.* Ядерная Луна // Энергия: экономика, техника, экология. 2024. №1. С. 2-9. [Электронный ресурс]. URL: https://jiht.ru/science/temp/2-9_Mайборода_compressed.pdf?ysclid=mbvfdqqxh906830951 (дата обращения 12.06.2025).
22. *Дайсон Ф.* Оружие и надежда: [пер. с англ.]. М.: Прогресс, 1990. С. 41–42. 282 с. ISBN 5-01-001882-9.
23. *Майборода А. О.* Сотворение обитаемого Марса – руководство пользователя. Независимая газета – Наука. 25.03.2025. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2025-03-25/12_9220_mars.html (дата обращения 12.06.2025).
24. *Майборода А. О.* Когда свершится ядерная революция в космонавтике. Независимая газета – Наука. 11.03.2025. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ng.ru/science/2025-03-11/9_9210_revolution.html (дата обращения 12.06.2025).

Севастьянов Николай Николаевич

Кандидат технических наук,

Руководитель РКК «Энергия» имени С. П. Королёва (2005-2007, 2019-2020 гг.)

г. Королёв, Московская область

nikcosmo2030@gmail.com

Sevastiyanov Nikolay Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences,

Head of S. P. Korolev RSC “Energia” (2005-2007, 2019-2020)

Korolev, Moscow Region

nikcosmo2030@gmail.com

ПИЛОТИРУЕМАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА МАРС. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЭТАПАМ ОРГАНИЗАЦИИ

A MANNED EXPEDITION TO MARS. SUGGESTIONS ON THE STAGES OF ORGANIZATION

Аннотация. Опираясь на личный опыт участия в разработке и реализации космических программ, автор излагает ряд соображений по подготовке к пилотируемым полетам на Марс. Предлагается рассматривать пилотируемую марсианскую программу как следующий этап после реализации лунной программы. Марсианский комплекс целесообразно собирать на орбите возле Луны. А для этого необходимо на Луне создать промышленную инфраструктуру для поддержки пилотируемых экспедиций на Марс. Необходимым условием освоения Луны является наличие ракеты-носителя сверхтяжелого класса.

Annotation. Based on his personal experience of participating in the development and implementation of space programs, the author outlines a number of considerations for preparing for manned flights to Mars. It is proposed to consider the manned Mars program as the next stage after the implementation of the lunar program. It is advisable to assemble the Martian complex in orbit near the Moon. And for this, it is necessary to explore the Moon and create an industry there to support the Martian expedition. A prerequisite for lunar exploration is the availability of a superheavy-class launch vehicle.

Ключевые слова: Луна, Марс, марсианский комплекс, пилотируемая экспедиция на Марс, ракета-носитель сверхтяжелого класса, электрореактивный двигатель.

Keywords: Moon, Mars, Martian complex, manned expedition to Mars, superheavy class launch vehicle, electric jet engine.

Введение

Марс хорошо изучен с помощью автоматических аппаратов. Идея пилотируемых полетов на Марс — это технологический вызов всему человечеству.

Что мы знаем о Марсе? Марс - четвёртая по удалённости от Солнца планета Солнечной системы, принадлежит к семейству планет земной группы. Диаметр Марса практически в 2 раза меньше диаметра Земли, а его масса почти в 10 раз меньше массы Земли. Сила тяжести на Марсе в 3 раза меньше, чем на Земле. Атмосфера очень разреженная. Магнитное поле у Марса почти в 80 раз меньше, чем у Земли. Как известно, атмосфера и магнитное поле - основа безопасности жизни на Земле. Именно магнитное поле и атмосфера служат защитой от внешних воздействующих факторов. Марсианские солнечные сутки (солы) сопоставимы с земными. На Марсе происходит смена времён года, аналогичная земной. Температура на Марсе меняется от 20°C на экваторе до минус 150°C на полюсах.

В 2005 году в РКК «Энергия» имени С. П. Королёва было разработано «Техническое предложение «Пилотируемая экспедиция на Марс (ОКР Марс-XXI)». (Рис.1). Работы выполнялись в тесном сотрудничестве с ФГУП «Исследовательский центр им. М. В. Келдыша», ГНЦ РФ ИМБП РАН, ИКИ РАН, ЦНИИмаш и др. Предлагалось с помощью достигнутых технологий в области околоземных орбитальных станций и электрореактивных двигателей создать марсианский пилотируемый комплекс. Выделим основные аспекты этих предложений.

Основные задачи и облик марсианского комплекса

Основные задачи марсианского комплекса:

- осуществление пилотируемого полета Земля-Марс-Земля;
- осуществление пилотируемой экспедиции на поверхность Марса;
- проведение научных исследований в процессе орбитального полета и на поверхности Марса.

В техническом предложении был представлен облик межпланетного экспедиционного комплекса (МЭК), для осуществления первых пилотируемых полетов на около марсианскую орбиту с последующей высадкой людей на поверхность Марса. В состав МЭК входили: энерго-двигательный комплекс межпланетного перелета с большими

пленочными солнечными батареями, межпланетный орбитальный корабль, взлетно-посадочный комплекс для посадки на Марс и корабль возвращения на Землю (рис.1).

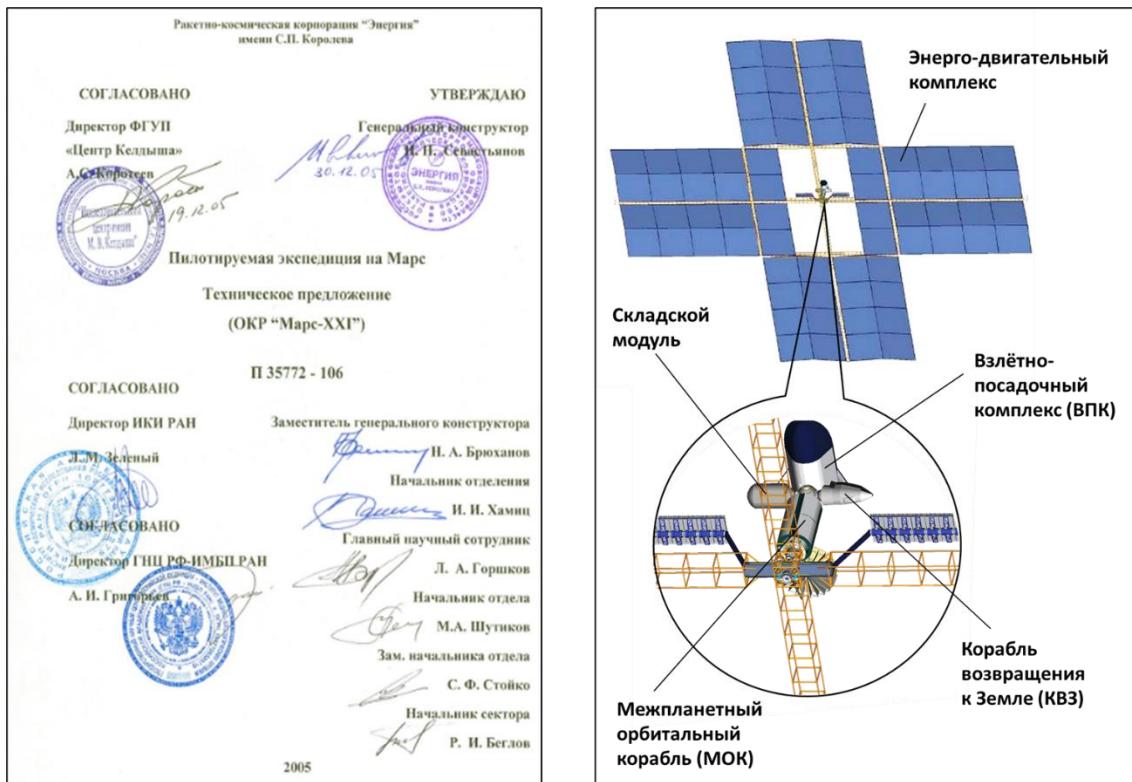


Рис. 1. Титульный лист и общий вид МЭК. Из технического предложения «Пилотируемая экспедиция на Марс» (2005).

Построение МЭК на основе солнечных батарей обеспечивало высокую надежность межпланетного перелета за счет многократного резервирования двигательной установки. Использование электрореактивных двигателей позволяло сделать корабль многоразовым, что давало возможность расширить программу летной отработки и снизить стоимость всей марсианской программы.

Предполагалось, что технические средства, созданные при подготовке марсианской экспедиции, будут использованы в решении других крупных задач, стоящих перед человечеством (земная энергетика, экология, освоение Луны и планет солнечной системы, и др.).

Спустя год на базе «Технического предложения «Пилотируемая экспедиция на Марс (ОКР Марс-XXI)» Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского выпустила монографию «Пилотируемая экспедиция на Марс» [1].

Комплекс, который мы проектировали для полета к Марсу без высадки экипажа на Красную планету весил 366 т. Из них, сам жилой модуль - 60 т, а возвращаемый корабль, рассчитанный на четверых космонавтов - 15 т, а также 200 т нейтрального газа ксенона, чтобы долететь к Марсу и обратно.

Баки с ксеноном предлагалось разместить вокруг жилого модуля для защиты экипажа от радиации (рис 2). Уровень радиационной защиты МОК должен был обеспечивать защиту экипажа таким образом, чтобы максимальная доза радиационного облучения экипажа (от галактического излучения, Солнца, радиационных поясов Земли) не превышала бы допустимую (не более 50 сЗв в год).

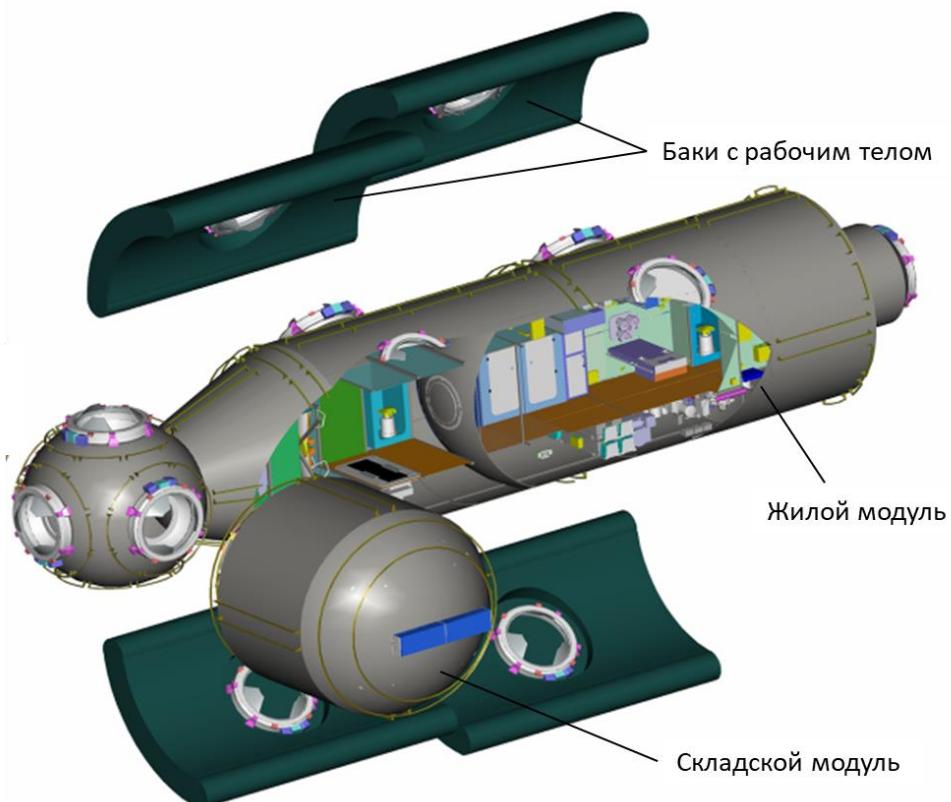


Рис. 2. Состав МОК [2, с. 89].

Экономический аспект

Анализ экономики показывает следующее. Сравним марсианский комплекс с Международной космической станцией (МКС). Масса МКС составляет около 440 т, почти эта же размерность у марсианского комплекса без высадки экипажа на поверхность Марса – 366 т. Понятно, что с высадкой масса удвоится. Стоимость создания МКС составила 150 млрд долл. По последней оценке, цена одной пилотируемой экспедиции на Марс с высадкой людей превысит 400 млрд долл. А годовой бюджет всех космических агентств мира не превышает 105 млрд долл. в год. Бюджет НАСА - примерно около 24 млрд долл. в год. Таким

образом, чтобы человечеству организовать подобную экспедицию при нынешнем темпе финансирования потребуется не менее 20 лет.

Ближайшей целью должна стать Луна

У человечества есть желание продвигаться в освоении Солнечной системы. Мы сейчас стали лучше понимать все технические трудности, связанные с пилотируемой экспедицией на Марс. Особенно это касается обеспечения жизнедеятельности экипажа, связанной с радиацией, невесомостью и длительным пребыванием в замкнутом пространстве.

С моей точки зрения, Луна должна стать первой ступенькой к организации пилотируемых полетов на Марс. 20 лет назад, в середине нулевых годов (в 2005-м) об этом велась широкая дискуссия и в нашей стране. Мое предложение заключалось в том, чтобы пилотируемую марсианскую программу рассматривать как следующий этап после лунной программы. Логика в том, чтобы постепенно отрабатывать технологии, необходимые для дальних перелетов. Невозможно покорить океан, не переплы whole реки вначале. Концепция развития пилотируемой космонавтики была мною изложена на пленарном заседании Международного астронавтического конгресса в 2006 году [2].

Следуя этой логике, когда я руководил ЦНИИмаш, а затем РКК «Энергия» в 2018-2020 гг. мы прорабатывали «Предложения по освоению дальнего космоса с использованием существующих и перспективных космических средств». Основные этапы этих предложений представлены на рис. 3.

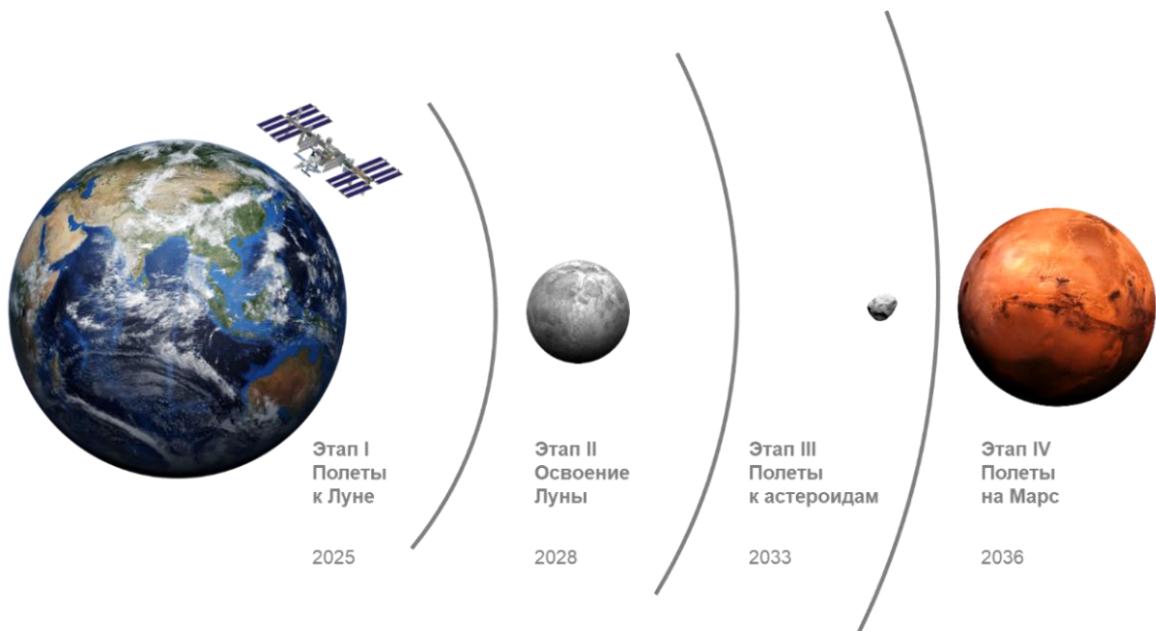


Рис. 3. Этапы освоения дальнего космоса. Из предложений РКК «Энергия» (2019).

Зачем осваивать дальний космос?

Человечество не может стоять на месте. Космонавтику можно сравнить с альпинизмом. Кто ходил в горы, тот понимает, что на высоте до 4000 м можно жить, а выше 5000 м жить невозможно. Ради великой цели - покорения Эвереста - энтузиасты тратят гигантские средства, рисуют жизнью, тропа к заветной вершине усеяна людскими телами. Человечество всегда будет стремиться выйти за рамки возможного, чтобы расширить зону своего обитания. Это касается и пилотируемых полетов на Марс.

После исследований автоматическими аппаратами мы лучше понимаем жесткие условия пребывания на Красной планете. Поэтому возникает вопрос: стоит ли вообще туда переселяться? Зачем мы должны осваивать космос? Думаю, для добычи ресурсов, чтобы улучшить жизнь на Земле. Добыча многих редкоземельных элементов, которые востребованы сегодня в промышленности, как известно, наносит существенный урон экологии Земли. Проблема отходов и загрязнений при добыче редкоземельных элементов актуальна во всем мире. Нам, прежде всего, следует беречь Землю - нашу колыбель.

Необходимость создания ракет-носителей сверхтяжелого класса

В мире растет интерес к исследованию Марса. На орбите вокруг Марса находятся американские, европейские, китайские, индийские, эмирятские зонды, а на поверхности Марса функционируют американские и китайский марсоходы. Автоматические космические аппараты можно посыпать к Марсу и от Земли. Если мы говорим о том, чтобы постепенно начать пилотируемые экспедиции к Марсу с возвратом экипажа, такие космические перелетные комплексы будут весить много сотен тонн. Их надо где-то собирать. Отлётная скорость (вторая космическая) от Луны в несколько раз меньше, чем от Земли. То есть целесообразно собирать марсианский комплекс возле Луны. А для этого необходимо создавать промышленную инфраструктуру на Луне. Доклад о промышленном освоении Луны был сделан мной, при участии академика Э. М. Галимова, В. Н. Бранца и других коллег, на Международном астронавтическом конгрессе в 2005 году [3].

Экономически эффективное освоение Луны невозможно без ракеты-носителя (РН) сверхтяжелого класса. В 2018 году, когда я руководил ЦНИИмаш, мы с кооперацией космических предприятий РКК «Энергия», РКЦ «Прогресс», ЦЭНКИ, НПО «Энергомаш», ИКИ РАН, ИМБП РАН и др. провели большую работу по подготовке проекта. В соответствии с указом Президента Российской Федерации № 32 от 29 января 2018 г. «О создании космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса» [4] был разработан проект «Федеральная целевая программа по созданию космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса (СТК) в период 2020–2030 годов». В проекте были глубоко

проработаны не только вопросы создания сверхтяжёлой ракеты, но и развитие стартовой инфраструктуры на космодроме Восточный, а также модернизация российской космической промышленности с целью повышения ее конкурентоспособности. Проект концепции Федеральной целевой программы «Создание космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса в 2020 – 2030 годы» был одобрен на Координационном совете Госкорпорации «Роскосмос» и президиуме Научно-технического совета Госкорпорации «Роскосмос» [5,6]. Рис. 4.

Проект программы был представлен в Правительство РФ в начале 2019 года. Стоимость всей программы с учетом разработки сверхтяжелой РН, строительства под нее космодрома, разработки пилотируемого корабля и лунного модуля, организации 3-х пилотируемых миссий к Луне в период 2020-2030 гг. составляла 1,6 трлн руб.



Рис. 4. Структура проекта «Федеральная целевая программа «Создание ракетно-космического комплекса сверхтяжелого класса на 2020-2030 годы». Из презентации ЦНИИмаш (2018).

Затем, когда я уже руководил РКК «Энергия» им. С. П. Королёва» в 2019-м году, мы совместно с кооперацией предприятий «РКЦ «Прогресс», «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», «ЦЭНКИ», «Энергомаш им. В. П. Глушко», ЦНИИмаш и другими разработали и защитили эскизный проект на создание космического ракетного комплекса СТК на базе технологии РН «Союз- 5». Результаты эскизного проектирования космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса для выполнения программ изучения и освоения объектов Солнечной системы, околоземного пространства, Луны и осуществления запусков космических аппаратов были одобрены на Научно-техническом совете Госкорпорации «Роскосмос» при

участии Российской академии наук [7]. Однако в 2020 году Госкорпорация «Роскосмос» приостановила дальнейшие работы по СТК.

Без сверхтяжелого носителя невозможно начать пилотируемые полеты к Луне и ее промышленное освоение, а значит невозможно осуществить и пилотируемые полеты на Марс. Основатели космической отрасли С. П. Королёв и В. П. Глушко это понимали, оставив нам ключевые технологические заделы для решения этой задачи. Эти заделы были созданы в Советском Союзе по программам создания ракет сверхтяжелого класса: «Н-1» и «Энергия» [8].

Заключение

Нужно ли лететь к Марсу? Для науки однозначно лететь необходимо! Потому что научные исследования расширяют горизонты человеческого миропонимания. Полученные знания с помощью автоматических космических аппаратов помогут подготовиться к полету человека на Марс, а потом и для организации постоянного присутствия человека на красной планете.

Люди все-равно будут стремиться достигнуть Марса для решения различных задач, начиная от поиска природных ресурсов в интересах улучшения жизни на Земле, до подготовки резервной планеты с целью сохранения жизни человеческой цивилизации в случае фатальных катаклизмов на Земле.

С точки зрения последовательности практических действий предлагается пилотируемую марсианскую программу осуществлять как следующий этап после реализации лунной программы. Марсианский комплекс целесообразно собирать на орбите возле Луны. А для этого необходимо создать на Луне промышленную инфраструктуру для поддержки марсианских пилотируемых экспедиций. Но необходимым условием освоения Луны и Марса является наличие ракет сверхтяжелого класса.

Список литературы

1. Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А. С. Коротеева, зам. главного редактора Н. Н. Севастьянов и др. М.: РАКЦ имени К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.
2. *Sevastyanov N.* Концепция развития пилотируемой космонавтики (пленарное заседание). Concept for The Development of Human Cosmonautics (Plenary Session)// 57th International Astronautical Congress, IAC-2006. Paper ID: 5738. [Электронный ресурс]. URL: <https://dl.iafastro.directory/event/IAC-2006/paper/5738/> (дата обращения 08.10.2025).
3. *Sevastyanov N., Verkhoturov V., Shutov V., Branets V., Kazantsev O., Galimov E., Kuligin V.* Промышленное освоение Луны. Industrial Development of the Moon // 56th

International Astronautical Congress, IAC-2005. Paper ID: 2981. [Электронный ресурс]. URL: <https://dl.iafastro.directory/event/IAC-2005/paper/2981/> (дата обращения 08.10.2025).

4. Указ Президента Российской Федерации № 32 от 29 января 2018 г. «О создании космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса».

5. Заседание Координационного совета о создании КРК сверхтяжёлого класса. 08.12.2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/25835/> (дата обращения 08.10.2025).

6. Заседание Президиума НТС Роскосмоса. 19.12.2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/25871/> (дата обращения 08.10.2025).

7. Роскосмос. НТС по итогам эскизного проектирования КРК СТК. 22.11.2019 [Электронный ресурс]. URL: https://www.energia.ru/ru/news/news-2019/news_11-22.html (дата обращения 08.10.2025).

8. Космическая «Энергия» Королева / Под ред. Н. Н. Севастьянова, зам. главного редактора В. Н. Бранец: РКК «Энергия» им. С. П. Королева. М.: «ШАНС+», 2007. 432 с

Ионин Андрей Геннадьевич,
Кандидат технических наук,
Группа компаний «Геоскан»,
Москва
ioninag@mail.ru

Ionin Andrey Gennadievich
Candidate of Technical Sciences,
“Geoscan” Group,
Moscow
ioninag@mail.ru

МАРС НАШ. ОБЩИЙ. НЕТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА

MARS IS OURS. COMMON. NON-TECHNOLOGICAL BARRIERS TO THE EXPLORATION OF MARS

Аннотация. В статье рассматриваются нетехнологические барьеры освоения дальнего космоса, прежде всего Марса. Акцент сделан на политических, организационных и цивилизационных аспектах реализации крупных международных космических проектов. Показано, что ключевые вызовы лежат не в области технологий, а в необходимости формирования глобальной цели, политической воли и нового образа будущего. Особое внимание уделено роли России, потенциалу Сибири и Арктики и необходимости третьей индустриализации.

Abstract. The article examines the non-technological barriers to deep space exploration, focusing primarily on Mars. The emphasis is on the political, organizational, and civilizational aspects of implementing large-scale international space projects. It is shown that the key challenges are not technological but lie in the need to form a global goal, political will, and a new vision of the future. Special attention is paid to Russia's role, the potential of Siberia and the Arctic, and the need for a third industrialization.

Ключевые слова: Марс, освоение космоса, международные проекты, нетехнологические барьеры, политическая воля, Россия

Keywords: Mars, space exploration, international projects, non-technological barriers, political will, Russia

Введение

Освоение Марса традиционно рассматривается сквозь призму технологических решений — ракетных систем, энергетических установок, биотехнологий и автономных систем жизнеобеспечения. Однако реальные вызовы лежат не только в технологической плоскости. Политические, организационные и ценностные аспекты оказываются не менее важными для реализации крупного международного космического проекта.

Освоение дальнего космоса и принципиально новые технологические решения

Сегодня, думаю, я вас немного удивлю. До меня многое было сказано о технологиях. А я хочу подчеркнуть: в рамках этого проекта технологии меня... не интересуют. Совсем. Не потому, что они не важны, — напротив, без них реализация проекта невозможна. Но мой фокус не на них.

Безусловно, для осуществления такой миссии нужны технологии — причём не те, что были созданы во времена Сергея Королёва и Вернера фон Брауна, и даже не те, что сегодня разрабатывает Илон Маск, при всём к ним уважении. Нужны принципиально новые технологические решения. О них сегодня уже говорили: в первую очередь это, конечно, ядерная энергетика в космосе и биотехнологии, т.е. технологии, связанные с «живым» в космосе.

Это два ключевых барьера, которые необходимо преодолеть. Но я сегодня буду говорить не о них. Я хочу обратить внимание на другие барьеры — точнее, на три ключевые задачи, которые, на мой взгляд, определяют успех проекта.

У меня немного времени — всего десять минут. Я сам попросил Сергея Александровича сделать моё выступление коротким и концентрированным. Поэтому надеюсь, что эта встреча — не последняя, а лишь первая из серии. Далее мы сможем обсуждать эти темы по секциям более подробно.

Прошу прощения, если некоторые мои тезисы будут изложены сжато и не всегда последовательно — просто приходится говорить очень быстро. Но именно те барьеры, о которых я скажу далее, на мой взгляд, не просто ключевые — они самые важные. При всём уважении к специалистам по различным технологиям, эти барьеры выходят за рамки сугубо технических вопросов.

Первое, на чём хочу остановиться. Мы сегодня ещё раз убедились, что задачи, которые ставили перед собой Королёв и фон Браун, не могли быть реализованы в их время. Они не могли не ставить перед собой цель полёта на Марс — это была логика развития космонавтики. Но с тем уровнем технологического развития, который был тогда, эта цель была просто недостижима. Человечество технологически не было готово.

Парадокс в том, что именно сегодня — в последние буквально 5–10 лет — человечество подошло к порогу тех технологических решений, которые впервые делают возможным реальный проект полёта на Марс.

Но здесь возникает следующий момент. Технократы, которые этим занимались все эти годы, рано или поздно поняли: что-то в этой логике не складывается. Все мы знаем, особенно те, кто следит за развитием космонавтики, что на протяжении как минимум последних тридцати лет космические агентства всего мира ломали голову над тем, как убедительно обосновать перед руководством своих стран необходимость пилотируемых полётов на Луну или Марс.

Думали тридцать лет. Умные люди. И ответа не нашли. А не нашли они его потому, что... его попросту нет. Нет национальных задач — ни у России, ни у Китая, ни у США — ни на Луне, ни, тем более, на Марсе.

Таких задач нет даже в отношении пилотируемого полёта туда и обратно, не говоря уже об устойчивом освоении. Их просто нет.

А значит ли это, что таких задач не существует вообще? Нет. Такие задачи существуют. Но они есть не у отдельных стран, а только у человечества в целом.

А почему — именно у человечества? Потому что только на пути освоения дальнего космоса — подчеркну: именно освоения, а не просто полётов — решаются все ключевые проблемы цивилизационного развития. Первыми шагами на этом пути должны стать Луна и Марс.

Освоение дальнего космоса — это не просто амбициозный проект, а ответ на фундаментальные вызовы, стоящие перед человечеством. Вспомним, например, проблему пределов роста, дефицита ресурсов, в т.ч. полезных ископаемых.

Решается проблема экологии. Решается проблема изменения климата. Снимается угроза глобального вымирания цивилизации — та самая, которая когда-то уничтожила динозавров.

Более того, решается и такая глубинная проблема, как общество сверхпотребления. У человечества появляется новая, общая и объединяющая цель, способная дать иной смысл его развитию.

И даже угроза, которая только начинает всерьёз обсуждаться — угроза искусственного интеллекта человеческой цивилизации, — также напрямую связана с этим выбором. Если человечество останется на Земле, то искусственный интеллект будет для нас угрозой: он не нуждается в нас, он становится нашим конкурентом.

Но если мы двинемся в космос, эта угроза превращается в союзника. Там ИИ становится не конкурентом, а инструментом и партнёром, без которого освоение дальнего космоса просто невозможно. Это станет нашим помощником.

Повторю: все ключевые проблемы человеческой цивилизации решаются на путях освоения дальнего космоса.

Из этого следуют три простых, но фундаментальных вывода.

Первое. То, что мы сегодня обсуждаем, — это не вопрос «хотим мы или не хотим». Это вопрос необходимости. Это задача, которую человечество обязано решить. Если мы этого не сделаем — цивилизации просто не будет. Через сто, двести или тысячу лет — неважно. Это вопрос не выбора, а выживания.

Второе. Это ответ на известную дилемму: автоматы, полёты или освоение? Ответ однозначен — только освоение. Только оно способно решить обозначенные проблемы.

Третье. Если это так, то проект может быть реализован только в международном формате, потому что это — задача всего человечества. Он не может быть национальным по своей природе.

Именно поэтому проект Artemis обречён. Уйдёт Дональд Трамп, уйдёт Илон Маск — и этот проект просто потеряет смысл, потому что в его нынешней конфигурации в нём нет глобальной цели.

А если проект международный, то возникает главный барьер: *как соединить страны между собой в рамках одного масштабного проекта?*

Такого опыта у человечества пока нет. Такого человечество ещё не делало. Но это — именно то, что необходимо научиться делать. Мы должны соединить.

Я долгие годы выступал за то, чтобы Россия вместе с Китаем — сначала в двустороннем формате, а затем в формате БРИКС — выступила инициатором такого международного проекта. Причём, повторю, для меня не принципиально, будет ли он сосредоточен на Луне или на Марсе. Это не главный вопрос. Главное — *начать это движение*.

Для этого нужен международный проект. Но у любого процесса должна быть точка старта — и кто-то должен его инициировать. Я ратовал за то, чтобы эту роль сыграли Россия и Китай. Не удалось.

Но сегодня, на мой взгляд, появился блестящий шанс использовать Илона Маска как инструмент. Он решает свои задачи, а мы — с его помощью — можем решить свои.

Использовать его как канал для того, чтобы на первом этапе организовать *российско-американский проект*, а затем сразу же подключить к нему Китай, Индию и другие страны. Кто-то должен начать.

Я надеюсь, что сегодня Кирилл Дмитриев, находясь в Вашингтоне, продолжает активно поднимать эту тему. Мы знаем, что в последнее время он уделяет ей большое внимание, и я думаю, что сегодня он также будет о ней говорить.

Никогда в истории человечества не было проекта подобного масштаба. И если он начнётся, то это будет прежде всего *политический проект*. А если есть политическая воля — появится и финансирование, и организационная структура, и долгосрочная стратегия.

Когда появится политическая воля, появятся и *политические ресурсы* — всё то, что когда-то обеспечило успех ядерного и космического проектов Сергея Королёва и Игоря Курчатова.

Без политической воли государства ничего не будет. Мы можем сколько угодно обсуждать детали, но давайте будем честны: смешно рассматривать реализацию такого проекта на бюджетах Роскосмос или NASA. *Никогда* на этих бюджетах такие проекты не будут реализованы. Никогда в жизни.

Нужны *другие масштабы*, принципиально иное финансирование, иная организационная логика.

Но мы также прекрасно понимаем: такой проект — это история **на десятилетия**. Я не верю в его реализацию в 2030-м или 2040-м году. Возможно, это произойдёт позже. Но именно туда нужно смотреть.

А это значит, что *этого проекта должно хотеть общество*. Причём не только российское — а мировое. А сегодня такой повестки просто нет. Общество не формулирует для себя такую цель.

Следовательно, *это будущее нужно формировать*.

И если мы начнём говорить о будущем человечества, в котором оно действительно хочет жить, то рано или поздно мы неизбежно выйдем на проект освоения космоса — потому что именно в нём и заложены ответы на ключевые задачи цивилизационного развития.

Если мы ставим задачу *изменить видение будущего человечества*, то мы объективно приходим к вопросу освоения космоса.

А теперь проведите мысленный эксперимент. Мы все читаем фантастику, смотрим фильмы. Есть ли сегодня хотя бы *один положительный сценарий* будущего человечества?

Взгляните на популярные культурные образы — Матрица, Терминатор... Где там позитив? Нет. Ни одного сценария, в котором человечество живёт в будущем, в которое хочется верить.

Мы *должны сформировать* такие сценарии. И это — *второй барьер*. Причём один из самых сложных: барьер *формирования позитивного образа будущего*.

И вот последнее. Нам часто задают вопрос: «Откуда деньги? И какое место должна занять Россия в этом проекте?»

Россия, на мой взгляд, находится в *的独特的情况下*. Для нас этот проект — не про Марс как таковой. Для нас это, прежде всего, *проект третьей индустриализации страны*.

Всё, что потребуется разработать в рамках этого проекта — биотехнологии, компактная ядерная энергетика, робототехника, искусственный интеллект, — всё это находится в самом центре **нового технологического уклада**.

То есть, если мы реализуем этот проект, мы **создаём технологии**, которые определяют саму логику современного технологического развития. Мы совершаем **рывок**, как это уже происходило в истории.

Вспомним, как это было с проектами Сергея Королёва и Игоря Курчатова. Реализуя два крупных проекта — ядерный и космический, — страна кардинально изменилась.

Сегодня у нас есть шанс сделать то же самое. С помощью *нового большого проекта* мы можем не просто участвовать в освоении Луны или Марса, а *трансформировать саму страну*.

Это не про Луну и не про Марс. Это — про *изменение России*, про её технологическое будущее и стратегическое место в мире.

Поэтому *этот проект нам нужен*.

Я говорю не о Луне. Я говорю о том, чтобы *в ходе реализации этого проекта наша страна стала другой*.

И при этом у нас есть ещё один огромный бонус — *Сибирь и Арктика*. Ведь все технологии, необходимые для Марса — энергоустановки, системы жизнеобеспечения, робототехника, — могут быть *испытаны и применены здесь*, на нашей территории.

Нам показывают фотографии Марса — но давайте посмотрим на фотографии Арктики. Можно ли жить там сейчас? Нет.

Но *технологии для Марса* могут быть использованы именно там. Мы освоим Сибирь и Арктику, и это *станет источником финансирования* для большого космического проекта.

Для реализации такой стратегии нам необходима *команда* — административная и техническая, способная мыслить и действовать системно.

У этой команды, по сути, должно быть *три головы*:

Первая голова смотрит на Марс и разрабатывает технологии *для марсианского проекта*.

Вторая голова оценивает эти же технологии с точки зрения *технологического прорыва страны*.

Третья голова планирует, как использовать эти технологии внутри страны — для Сибири, Арктики, новых отраслей и экономического роста.

И вот тогда мы *получим инвестиции*. И тогда вопрос уже не будет звучать так: «Какое место Россия займёт в марсианском проекте?»

Потому что в этой конфигурации *мы получим максимальную выгоду* — больше, чем Илон Маск, больше, чем Китай, больше, чем любая другая страна.

Почему? Потому что им не нужна третья индустриализация. А нам — нужна.

У них уже есть свои технологические платформы, свои структуры индустриального роста. А у нас сегодня нет проекта, который находился бы в центре этой индустриализации.

У нас нет технологий, которые позволяли бы действительно освоить Сибирь и Арктику — наш собственный внутренний «Марс».

Вот и всё. Поэтому этот проект — не про чужие цели, не про участие «на вторых ролях». Он про нашу трансформацию, про нашу стратегическую задачу.

Это наш шанс сформировать не только образ будущего, но и инструменты для его реализации — на Земле и в космосе одновременно.

Заключение

Нетехнологические барьеры — ключевой вызов освоения дальнего космоса. Международное сотрудничество, политическая воля и формирование образа будущего становятся не менее важными, чем ракеты и энергетические установки. Для России этот проект может стать уникальным инструментом развития и модернизации, а также ядром третьей индустриализации [1, 2].

Список литературы

1. *Ионин А. Г.* Для России марсианский проект может стать ядром третьей индустриализации // Business-Gazeta. 12 апреля 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/669136> (дата обращения: 11.10.2025).
2. *Веденеева Н.* Российские ученые обсудили за круглым столом возможности полета на Марс // Московский комсомолец. 3.04.2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mk.ru/science/2025/04/03/rossiyskie-uchenye-obsudili-za-kruglym-stolom-vozmozhnosti-poleta-na-mars.html?ysclid=m91q9fhcva229149986> (дата обращения: 11.10.2025).

ПРИЛОЖЕНИЯ

**КРАТКИЙ ОТЧЕТ О ЗАСЕДАНИИ КРУГЛОГО СТОЛА
«МЕЖДУНАРОДНАЯ ПИЛОТИРУЕМАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА МАРС
С УЧАСТИЕМ РОССИИ В 2030-2040 ГОДАХ»**

Круглый стол прошел 2 апреля 2025 года в Москве, в МГТУ им. Н. Э. Баумана. Его организовали Московский космический клуб (МКК) и МГТУ им. Н. Э. Баумана при поддержке Инфраструктурного центра 2.0 «Аэронет».

В Конференц-зале Учебно-лабораторного корпуса для обсуждения практических вопросов пилотируемой миссии к Красной планете собрались специалисты профильных организаций госкорпорации «Роскосмос» (РКК «Энергия им. академика С. П. Королёва», ЦНИИмаш, Центра им. М. В. Келдыша, Центра подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина), ФМБА России, ИКИ РАН, ИМБП РАН и других научных институтов Минобрнауки, а также студенты, аспиранты и преподаватели МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МГУ им. М. В. Ломоносова, представители институтов развития и частных космических компаний, журналисты.

Ведущий, президент МКК, к.т.н., космонавт-испытатель Сергей Жуков, обозначил основную цель Круглого стола: оценить возможность осуществления Марсианской пилотируемой миссии как глобального международного проекта, используя отечественный опыт пилотируемых полетов и технологический задел. Он отметил, что нынешнее мероприятие задумано как первое из серии обсуждений обозначенной темы среди профессионального сообщества.

С постановочным докладом на тему «Вперед, на Марс! Краткая история и новый взгляд на цель и сверхзадачу пилотируемой экспедиции» выступил д. филос. н., к.т.н., профессор, главный научный сотрудник ИИЕТ им. С. И. Вавилова РАН, космонавт-испытатель, член МКК Сергей Кричевский.

Об истории изучения Марса автоматическими аппаратами, о негостеприимном климате этого небесного тела рассказал научный руководитель ИКИ РАН академик Лев Зелёный в докладе «Марс. Мечта о запасной планете для человечества».

Выступивший вслед за ним д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Э-8 МГТУ им. Н. Э. Баумана, главный научный сотрудник ГНЦ РФ «Центр Келдыша» Александр Семёнкин рассказал о возможностях современных энергодвигательных систем для выполнения межпланетных перелетов.

Тему подхватил начальник научно-технического центра РКК «Энергия им. С. П. Королева» Андрей Лобыкин, сообщивший о текущем состоянии проекта Марсианского экспедиционного комплекса.

Главный научный сотрудник НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина д.т.н. Борис Крючков рассказал об отработке методики подготовки космонавтов к марсианской экспедиции. После полета на МКС в условиях микрогравитации, сразу по возвращению на Землю космонавты Роскосмоса, участвующие в этом исследовании, выполняют задания по циклограмме предполагаемой посадки и работы на Марсе.

Изучению влияния неблагоприятных факторов (радиации, невесомости, гипомагнитного поля, психологических и др.) и рисков полета на Марс, их воздействий на человека, аспектам защиты и безопасности были посвящены сообщения директора ГНЦ РФ ИМБП РАН академика Олега Орлова и главного научного сотрудника ГНЦ РФ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА академика РАН Игоря Ушакова.

Выступивший следом академик РАКЦ, заслуженный конструктор РФ, конструктор и организатор работ по созданию ракетно-космической техники, к.т.н. Николай Севастьянов обратил внимание собравшихся на критическую необходимость создания отечественной сверхтяжелой ракеты для освоения Луны и Марса.

Старейший работник отрасли, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана, д.т.н. Виктор Миненко рассказал о студенческих и аспирантских «марсианских» проектах, в т.ч. по разработке взлетно-посадочного модуля.

Член МКК, изобретатель и предприниматель Александр Майборода представил свои идеи по радиационной защите экипажей в полете на Марс методом сборки нескольких кораблей в одну связку.

Основные выступления завершил член-корреспондент РАКЦ, к.т.н. Андрей Ионин докладом «Марс наш. Общий», обосновавший необходимость именно международного проекта, он заявил о важном значении проекта как прорывного для российской экономики.

Затем состоялась дискуссия с обсуждением темы и докладов. В заседании, которое длилось 3 часа, участвовало около 100 человек.

Принято Решение Круглого стола.

**РЕШЕНИЕ КРУГЛОГО СТОЛА
«МЕЖДУНАРОДНАЯ ПИЛОТИРУЕМАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА МАРС
С УЧАСТИЕМ РОССИИ В 2030-2040 ГОДАХ»
2 апреля 2025 г., Москва**

1. Участники Круглого стола, организованного Московским космическим клубом и МГТУ имени Н.Э. Баумана, кратко высказали и обсудили в междисциплинарной и межотраслевой постановке мнения и предложения с охватом предыстории, научно-технического задела, возможностей, ограничений, проблем и перспектив подготовки и выполнения в России и мире пилотируемой экспедиции на Марс для его исследования и дальнейшего освоения человечеством.

2. России «марсианский» проект необходим как сверхзадача для получения новых знаний, развития науки и техники, новых космических и других технологий, подготовки кадров, сохранения статуса ведущей космической державы, освоения внеземных ресурсов, международного сотрудничества с учетом наших национальных интересов.

3. Целесообразно инициировать международный проект пилотируемой экспедиции на Марс с участием России и выполнением первого пилотируемого полета в 2030-2040 гг.

4. Обращаемся к руководству России с предложениями:

4.1.1. инициировать, разработать и заключить: (1) «Договор о международной пилотируемой экспедиции на Марс» с участием РФ, США, КНР и других стран; (2) «Соглашение об освоении Марса» в ООН;

4.1.2. разработать и принять в РФ нормативно-правовые акты, необходимые для подготовки и выполнения пилотируемых полетов на Марс;

4.1.3. включить проект пилотируемой экспедиции на Марс в разрабатываемый нацпроект по развитию космической деятельности России до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.;

4.1.4. в высшей школе ввести учебную дисциплину «Исследование и освоение Марса» для подготовки специалистов и научных кадров.

5. Обращаемся к космическому, научному и образовательным сообществам России и других стран с просьбой поддержать проект международной пилотируемой экспедиции на Марс для его исследования и дальнейшего освоения человечеством.

6. В целях изучения и обсуждения проблем, выработки практических решений для пилотируемой экспедиции на Марс, его дальнейшего освоения человечеством:

- 6.1. систематически проводить новые заседания Круглого стола;
 - 6.2. организовать междисциплинарный научный семинар: «Вперед, на Марс!»;
 - 6.3. инициировать и организовать обсуждение этой темы на научных конференциях;
 - 6.4. организовать в России национальный конкурс новых идей, технологий, проектов и публикаций, посвященных пилотируемым полетам на Марс и его освоению человеком.
7. Распространить информацию о Круглом столе в СМИ и электронных сетях.
 8. Подготовить и опубликовать Сборник материалов Круглого стола в 2025 г.

**ИЛЛЮСТРАЦИИ. ЗАСЕДАНИЕ КРУГЛОГО СТОЛА
2 АПРЕЛЯ 2025 Г., МОСКВА, МГТУ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА**

Иллюстрации, на которых показано заседание Круглого стола 2 апреля 2025 г. помещены в хронологии, - Илл. 1-20.

На Илл. 1. Вид экрана сцены конференц-зала Учебно-лабораторного корпуса МГТУ имени Н. Э. Баумана - главное изображение, которое проецировалось во время Круглого стола (*авторы: К. С. Жуков и МКК*).

На Илл. 2-13 фотографии основных участников и докладчиков во время выступлений – авторов статей. Они соответствуют последовательности докладов на Круглом столе и текстов статей в сборнике. На Илл. 14-20 – другие фотографии Круглого стола. Автор этих 19-ти фотографий, Илл. 2-20, – Ю. А. Шведчиков.



Илл. 1. Вид экрана сцены Круглого стола 2 апреля 2025 г., с эмблемами МКК (слева) и МГТУ имени Н. Э. Баумана (справа) в конференц-зале Учебно-лабораторного корпуса МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва. Это главное изображение проецировалось во время Круглого стола (*компьютерная «заставка», разработанная и созданная К. С. Жуковым и членами МКК*).



Илл. 2. С. А. Жуков - модератор Круглого стола, президент МКК, кандидат технических наук, космонавт-испытатель. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 3. С. В. Кричевский - доктор философских наук, кандидат технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИИЕТ РАН, космонавт-испытатель, член МКК. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 4. Л. М. Зелёный - доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ИКИ РАН. (Фото Ю. А. Шведчика).



Илл. 5. А. А. Лобыкин - руководитель Научно-технического центра ПАО РКК «Энергия» имени С. П. Королёва, г. Королёв, Московская область. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 6. А. В. Семёнкин - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Э-8 МГТУ имени Н. Э. Баумана. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 7. Б. И. Крючков - доктор технических наук, главный научный сотрудник НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина, Звёздный городок, Московская область. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 8. О. И. Орлов - доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор ГНЦ РФ ИМБП РАН. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 9. И. Б. Ушаков - доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник «ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» ФМБА, г. Москва. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 10. В. Е. Миненко – доктор технических наук, профессор МГТУ имени Н. Э. Баумана. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 11. А. О. Майборода -- ведущий научный сотрудник, Международный Центр Эвереттических Исследований, г. Москва, член МКК. (Фотография Ю. А. Шведчикова).



Илл. 12. Н. Н. Севастьянов, кандидат технических наук, руководитель РКК «Энергия» имени С. П. Королёва (2005-2007, 2019-2020 гг.), г. Королёв, Московская область. (Фотография Ю. А. Шведчикова).



Илл. 13. А. Г. Ионин – кандидат технических наук, Группа компаний «Геоскан», г. Москва, член МКК. (Фотография Ю. А. Шведчикова).



Илл. 14. Участники Круглого стола в зале, общий план. Во 2-м ряду слева – академик РАН Л. М. Зелёный. (Фото Ю. А. Шведчикаова).



Илл. 15. Участники Круглого стола в зале. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 16. И. Б. Ушаков (слева) и Б. И. Крючков. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 17. О. И. Орлов, С. В. Кричевский, В. И. Майорова (на переднем плане, слева направо). (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 18. А. С. Дорогов - вице-президент МКК зачитывает проект Решения Круглого стола. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 19. Участники Круглого стола в зале. (Фото Ю. А. Шведчикова).



Илл. 20. Коллективная фотография основных выступающих и других участников после завершения работы Круглого стола «Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах». 2 апреля 2025 г., конференц-зал Учебно-лабораторного корпуса МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва. (Фото Ю. А. Шведчика).

Научное электронное издание

ISBN 978-5-98866-084-2

ISBN 978-5-98866-084-2



9 785988 660842

Международная пилотируемая экспедиция на Марс с участием России в 2030-2040 годах (исторические, методологические, научно-технические и другие аспекты). Сборник материалов Круглого стола 2 апреля 2025 г., Москва, МГТУ имени Н. Э. Баумана / Отв. ред. С. В. Кричевский. М.: ИИЕТ РАН, 2025.

Издательство

ФГБУН «ИИЕТ имени С. И. Вавилова РАН»

125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 14.

Тел.: +7 (495) 988 2280.

Подписано к использованию 28.11.2025.

Объём 9,5 Мбайт. Электронные текстовые и графические данные.