

ARTIFICIAL GRAVITY FOR PEOPLE IN SPACE: EVOLUTION OF IDEAS, TECHNOLOGIES, AND PROJECTS

Sergey V. KRICHEVSKY,
Dr. Sci. (Philosophy), Professor, Chief Researcher,
S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Tech-
nology of the Russian Academy of Sciences (IHST RAS),
ex-test-cosmonaut, Moscow, Russia,
svkrich@mail.ru



Сергей Владимирович КРИЧЕВСКИЙ,
доктор философских наук, профессор, главный научный
сотрудник Института истории естествознания
и техники имени С.И. Вавилова РАН,
экс-космонавт-испытатель, Москва, Россия,
svkrich@mail.ru

ABSTRACT | The problem of creation and application of artificial gravity for people in space is considered as a short history of ideas, technologies, projects of the XIX-XXI centuries in the paradigm of space exploration and life outside the Earth. A general definition, the description of ways to create artificial gravity, its modes are given. A brief analysis of history, periodization, classification are made. Important examples of ideas, technologies, projects are proposed. The realities and prospects are described. The main conclusions and recommendations are formulated.

Keywords: *life outside the Earth, idea, artificial gravity, history, space exploration, project, mode, technology, man, evolution*

АННОТАЦИЯ | Рассмотрена проблема создания и применения искусственной гравитации для людей в космосе как краткая история идей, технологий, проектов XIX-XXI веков в парадигме освоения космоса и жизни вне Земли. Даны: общее определение, описание способов создания искусственной гравитации, ее режимов, предложен вариант из четырех основных режимов. Сделаны: краткий анализ истории, периодизация, классификация, приведены важные примеры идей, технологий, проектов. Описаны реалии и перспективы. Сформулированы основные выводы и рекомендации.

Ключевые слова: *жизнь вне Земли, идея, искусственная гравитация, история, освоение космоса, проект, режим, технология, человек, эволюция*



ИСКУССТВЕННАЯ ГРАВИТАЦИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ В КОСМОСЕ: ЭВОЛЮЦИЯ ИДЕЙ, ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОЕКТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим проблему создания и применения искусственной гравитации (ИГ) в космосе как краткую историю и эволюцию идей, технологий и проектов XIX–XXI веков в парадигме освоения космоса, экспансии человека за пределы Земли, длительной и постоянной жизни людей в космосе [1–24]¹.

125 лет назад, в 1895 году, К. Э. Циолковский в книге «Грезы о Земле и небе» предложил идею создания в невесомости искусственной тяжести центробежной силой, сообщая объекту вращательное движение, затем описал это 100 лет назад, в 1920 году, в повести «Вне Земли» (по: [1; 2, с. 84–86; 3, с. 127]).

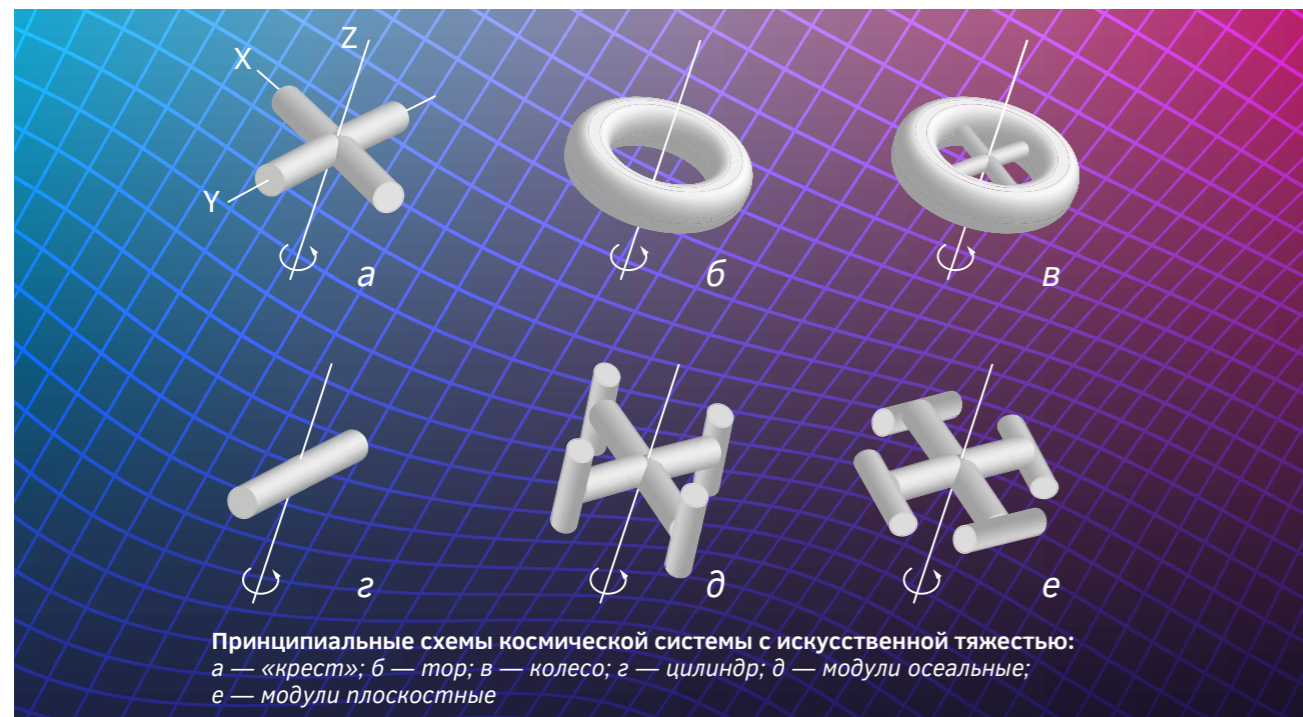
В XX–XXI веках в России и мире разработаны теоретические основы, множество идей, технологий и проектов создания ИГ в космических полетах.

Парадоксально, но почти 60 лет люди летают в космос без систем ИГ. Причем первые системы ИГ в виде центрифуг начали применяться в космосе с 70-х годов XX века в США, СССР / РФ и других странах на борту автоматических биоспутников для исследований земных биообъектов (растений, животных и др.), моделирования, изучения эффектов и последствий ИГ, чтобы затем создавать и применять системы ИГ и для людей в космосе [3, с. 148–149; 4–6, 14, 24].

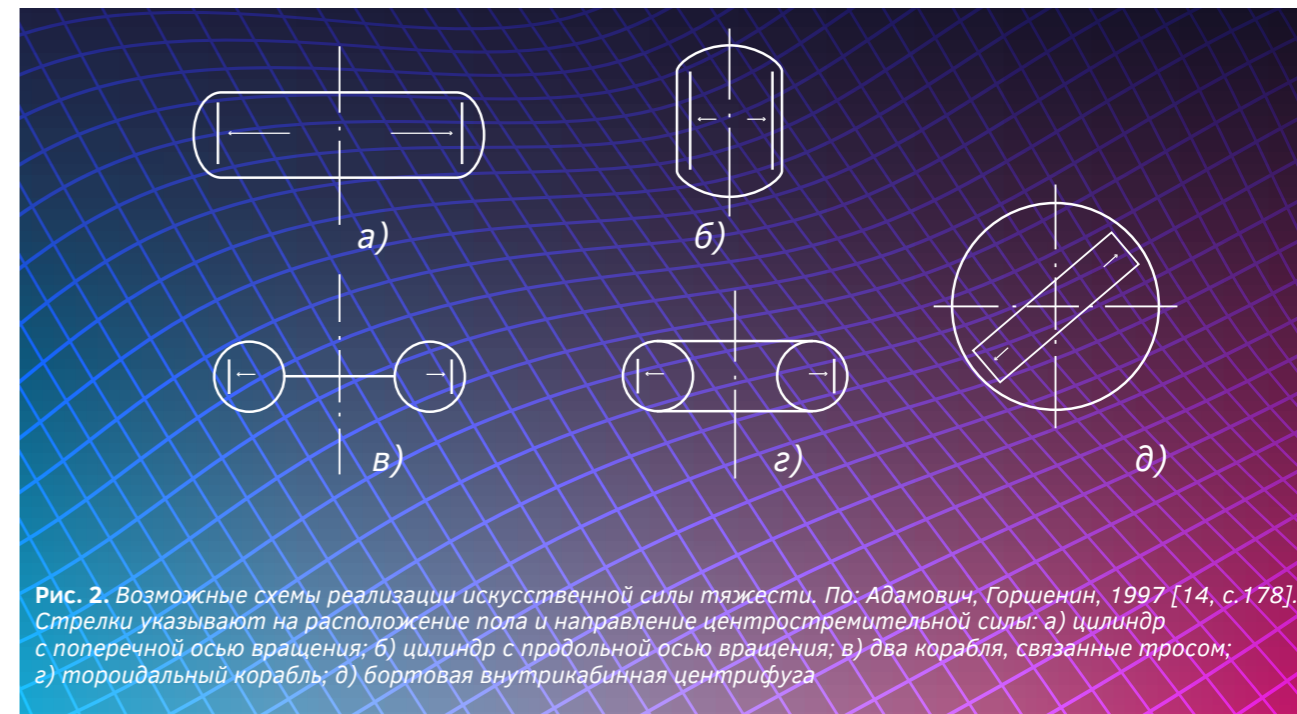
Достигнуты пределы безопасного постоянного пребывания человека в космосе в условиях невесомости (микрогравитации): 1 – 1,5 года в околоземном космическом пространстве (ОКП) на орбитальных станциях (ОС) «Мир» и Международной космической станции (МКС) [5, 6, 8]. Для выхода за эти пределы необходимо внедрение ИГ, начиная с центрифуг короткого радиуса (ЦКР) [3–6] в полетах до года, с переходом к полноценным системам ИГ для обеспечения людей в космосе на полном цикле их жизни.

Проблема ИГ имеет теоретические и практические аспекты, накоплены знания, опыт исследований, экспериментов. Особое значение ИГ имеет для безопасной, достойной жизни, эффективной деятельности людей вне Земли в длительных околоземных и межпланетных полетах, для успешной экспансии человека в космос, репродукции, создания космического человека и человечества. В XXI веке растет количество публикаций об ИГ, о новых идеях, технологиях и проектах, но есть и критика ИГ, значительное противодействие ее внедрению по медико-биологическим, техническим, экономическим и другим причинам [3–17, 20, 21, 23, 24]. Подробнее — в разделах 1–4.

Рис. 1. Возможные схемы реализации ИГ вращением. По: Шипов, 1997 [3, с. 128]



¹ Публикуются материалы и результаты исследований автором историко-технических аспектов ИГ по плану НИР ИИЕТ им. С. И. Вавилова РАН в 2018–2020 гг. Автор исследует проблему ИГ с 1991 г., его первая публикация была на тему «Пилотируемый космический аппарат с зонами невесомости и искусственной тяжести как устройство повышения эффективности профессиональной деятельности космонавтов» (1993), см.: [7, с. 126–127].



1. ОСНОВАНИЯ, СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ ИСКУССТВЕННОЙ ГРАВИТАЦИИ

Искусственная гравитация (тяжесть, сила тяжести) — искусственно создаваемая сила в условиях космического полета, вне Земли, которая по своему действию близка к гравитационной силе (силе тяжести), с применением знаний, технологий и техники. ИГ необходима для снижения и предотвращения неблагоприятных воздействий невесомости на здоровье, жизнедеятельность, эффективность работы человека в космосе, а также на функционирование, надежность и безопасность техники.

Основные способы создания ИГ:

1. Вращение объекта и создание ИГ за счет центробежной силы [1–3]. Возможные схемы реализации ИГ см.: [3, с. 128; 13, с. 178] и рис. 1, 2.
2. Разгон и торможение в течение длительного времени в космическом полете, «весомая космонавтика» (по В. М. Юровицкому) [15, с. 110].
3. При помощи вибраций, колебательных систем и т. п. [16, 17].

Возможно, в будущем появятся принципиально новые технологии ИГ на основе новых знаний о природе гравитации.

Воздействия ИГ на человека в космосе:

1. Позитивные: ИГ «является наиболее радикальным средством защиты от невесомости» [4, с. 9];

профилактика и «гравитационная терапия», восстановление, в том числе после травм и т. д.

2. Негативные: вестибулярные и другие расстройства, психологический дискомфорт из-за длительного вращения; кумулятивные эффекты частого и длительного использования ЦКР; коллизии адаптации и дезадаптации из-за поочередного пребывания в зонах невесомости и ИГ, частой и быстрой смены зон; индивидуальные особенности реакций организма и психики на ИГ и т. д. [3–6, 13].

Основные режимы ИГ

Ключевая задача при разработке проблемы ИГ — определение оптимальных режимов действия перегрузок с позиции их переносимости и эффективности (по: [5, с. 18]). Для определения оптимальных режимов, минимальных эффективных величин ИГ, длительности и так далее предстоит выполнить большой объем исследований в космосе на МКС и иных пилотируемых объектах, с применением ЦКР и других систем ИГ.

Оптимальные режимы ИГ можно формализовать, например, в виде предлагаемого варианта, включающего четыре основных режима:

Первый режим. Полная невесомость, то есть отсутствие ИГ (0,0 G) при пребывании людей в космосе допустима на ограниченное время: а) штатно, на срок до одного месяца (30 суток); б) для научных экспериментов и испытаний,

а также в аварийных ситуациях (при отказе систем ИГ) — на срок до одного года.

Второй режим. Пониженные уровни ИГ (от 0,1 до 0,9 G), конкретные значения и длительность (время) действия устанавливать для различных категорий людей и индивидуально с учетом возраста, заболеваний, других факторов и особенностей.

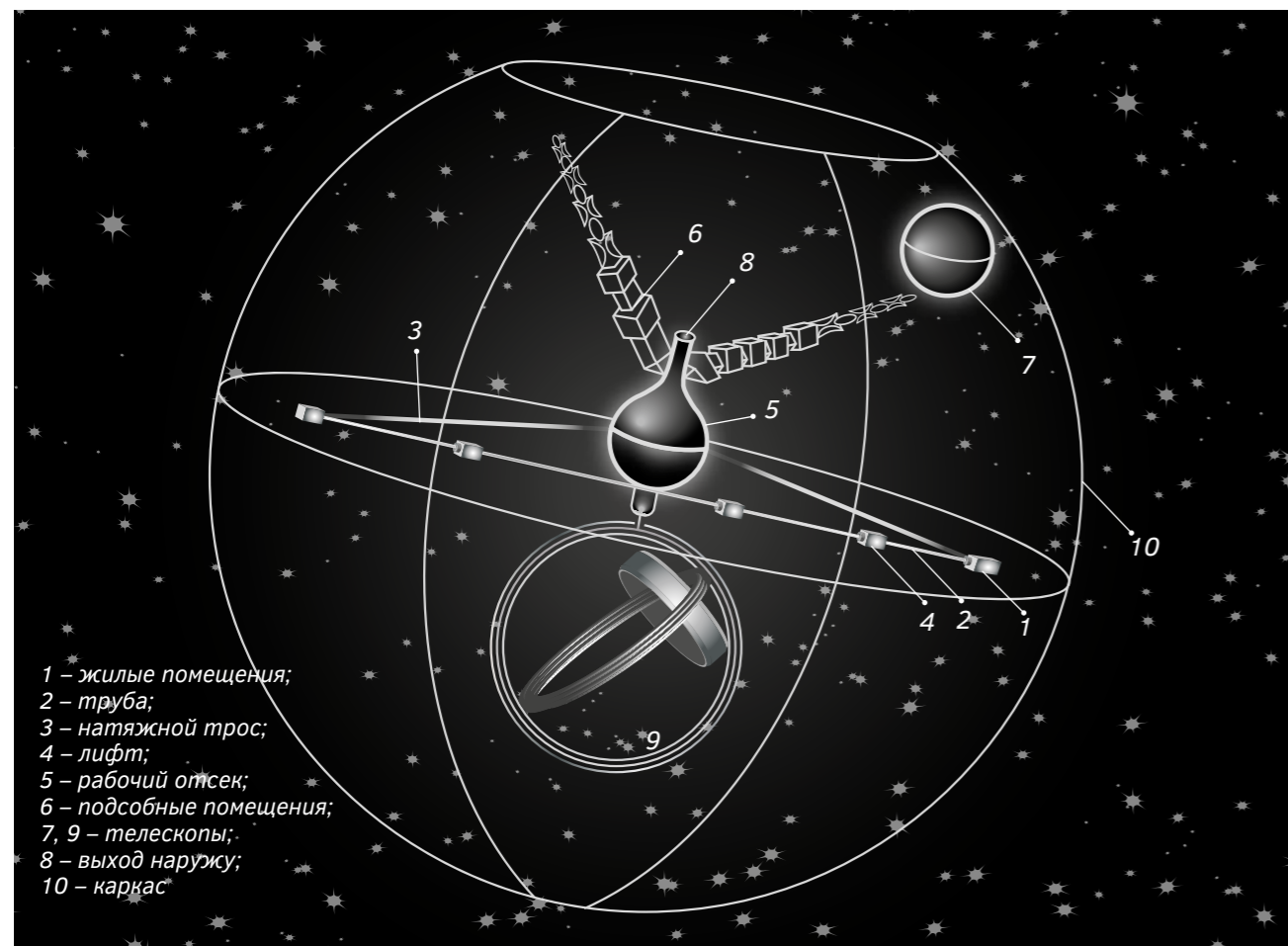
Третий режим. Постоянная ИГ ~ 1,0 G (как на Земле) — при репродукции людей в космосе от зачатия до рождения и для дальнейшего развития ребенка до пяти (?) лет², а также при ряде заболеваний людей и т. д.

Четвертый режим. Повышенные уровни ИГ (от 1,1 до 2,0 G), конкретные значения и длительность (время) действия устанавливать для различных категорий людей и индивидуально с учетом возраста, заболеваний, других факторов и особенностей.

2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИДЕЙ, ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОЕКТОВ

Существует множество идей, технологий, проектов, патентов ИГ для космических полетов и жизни людей вне Земли, в околоземном космическом пространстве (ОКП), на Луне, для межпланетных кораблей и т. д. Их авторы — писатели, ученые, инженеры, биологи, медики: К. Э. Циолковский, Г. Оберт, Г. Поточник (Г. Ноордунг), А. А. Штернфельд, Р. Бартон, В. фон Браун, В. Вайт, Д. Кардус, А. Кларк, Дж. О'Нил, С. П. Королёв, Б. А. Адамович, И. Ф. Виль-Вильямс, О. Г. Газенко, А. Р. Котовская, В. Ю. Лукьянюк, А. О. Майборода, С. Л. Морозов, О. И. Орлов, А. А. Шипов и др. [1–24].

Рис. 3. Обитаемая космическая станция Г. Оберта, Германия (1923)



² Предварительная оценка автора, конкретные сроки, возможности сокращения предстоит определить по результатам исследований и жизни в космосе. См.: [3–6, 8, 10, 12].

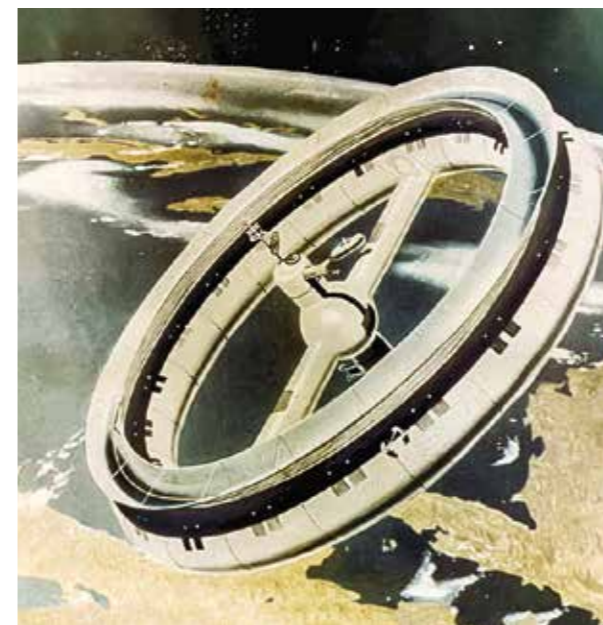


Рис. 4. Вращающаяся космическая станция фон Брауна. NASA concept (1952)

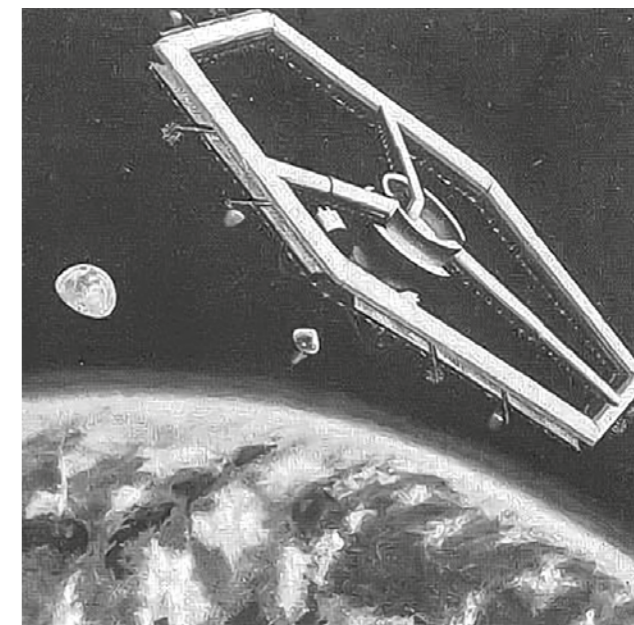


Рис. 5. Шестиугольная надувная вращающаяся космическая станция. NASA concept (1962)

Периодизация истории исследований и перспектив работ по проблеме ИГ

Эволюцию процесса исследований и работ по проблеме ИГ, развития идей, технологий, проектов представим в виде трех основных периодов:

Первый период. Теоретические исследования проблемы ИГ — с конца XIX в.

Второй период. Разработка, испытания на Земле систем ИГ на людях — с 70-х гг. XX в.

Третий период. Использование ИГ для жизни людей в космосе: а) локальных, «внутренних» систем — ЦКР на МКС ~ с 2021–2024 гг.; б) переход к полноценным «внешним» системам на перспективных вращающихся космических станциях, поселениях в ОКП, межпланетных полетах, на Луне, Марсе, в том числе в сочетании с пунктом а), ~ с 2030–2040 гг. (прогноз).

Классификация идей, технологий, проектов ИГ

Существуют десятки идей, технологий, проектов, патентов, посвященных ИГ для людей в космосе (примеры см. в разделе 3), их общую классификацию можно представить в следующем виде:

1. Цели: 1.1. — локальная и периодическая компенсация негативных воздействий и последствий невесомости; 1.2. — полная и постоянная защита от невесомости.

2. Физические и технические способы создания ИГ.

3. Конструкции систем ИГ: 3.1. — локальные, внутренние, «местные» (ЦКР, колебательные и другие системы); 3.2. — полноценные, «внешние» системы, с вращением всего объекта или его частей; 3.3. — сочетание пп. 3.1 и 3.2. См. разделы 1 и 3.

3. ПРИМЕРЫ ИДЕЙ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОЕКТОВ

Приведем, кратко опишем и проиллюстрируем ряд важных примеров.

3.1. Идея создания ИГ на вращающемся объекте из двух полусфер, соединенных цепями, К. Э. Циолковский, Россия (1895) [11, с. 52; 19, с. 34].

3.2. Обитаемая космическая станция с ИГ, Г. Оберт, Германия (1923) [24], рис. 3.

3.3. ОС «Колесо жизни» с ИГ (жилой модуль — вращающийся тороид), Г. Поточник (Г. Ноордунг), Австрия (1929) [18; 20, с. 81, 82].

3.4. ОС Rotating Wheel Space Station с ИГ, В. фон Браун, США (1952) [24], рис. 4.

3.5. ОС Hexagonal inflatable rotating space station. NASA concept, США (1962) [24], рис. 5.

3.6. «Искусственная тяжесть», С. П. Королёв, СССР (1963). Развитие идеи К. Э. Циолковского, см. п. 3.1. Раскрутка двух объектов, соединенных тросовой системой, для создания ИГ в космосе с использованием пилотируемого корабля.

ля «Восход», но реализовать проект не удалось [21]. В 1966 году астронавты США успешно провели первый эксперимент в космосе, создав ИГ вращением корабля «Джемини-11», связанного 30-метровым тросом со ступенью ракеты «Аджена» [11, с. 52; 24], рис. 6. В России идея получила развитие, см. патент на пилотируемый тросовый комплекс (1993) [22] и концепцию в п. 3.14.

3.7. Поселения в космосе — вращающиеся цилиндры «Острова» I, II, III, с ИГ, в точках либрации системы «Земля — Луна», Дж. О’Нил, США (1974–1977) [24].

3.8. Стэнфордский тор с ИГ, Стэнфордский университет, США (1975) [10, с. 33].

3.9. ЦКР. Разработка началась в мире в 60-е годы XX века. Первая наземная ЦКР создана в России (1978) [4, с. 71–73]. В начале 90-х годов XX века обсуждалась идея создания модуля с ЦКР на ОС «Мир», но она не реализована. На МКС должен быть новый модуль с ЦКР для ИГ с 2020 года, разрабатывают ИМБП и РКК «Энергия», Россия (2016), но создание и запуск откладываются [6, с. 16], рис. 7.

3.10. Способ уменьшения отрицательного воздействия невесомости на живые организмы вибрацией, колебательные системы, Россия (1995, 2011) [16, 17].

3.11. ОС Nautilus-X с ИГ, NASA, США (2011) [24], рис. 8.

3.12. Центрифуга «Грависити» для Луны, О. А. Майборода, ООО «АВАНТА-Консалтинг», Россия (2014) [9].

3.13. Космический город в форме гриба с ИГ в ОКП, NASA, США (2015) [11, с. 55].

3.14. Концепция новой российской космической базы «Мир-2» с ИГ, проект группы авторов, Россия (2016), рис. 9.

3.15. Космический гомеостатический ковчег, Асгардия, С. Л. Морозов (2018) [10].

3.16. ОС Von Braun Space Station — отель для туристов с ИГ в ОКП, Gateway Foundation, США (2019), переименована в Voyager Station (2020), рис. 10.

3.17. «ЭкоКосмоДом» с ИГ в ОКП, А. С. Юницкий, Беларусь (2019) [23, с. 56], рис. 11.

4 РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Для дальнейшей экспансии [8] необходимо внедрение систем ИГ в сочетании с другими известными средствами профилактики [4, 5], начиная

Рис. 6. Первый эксперимент по ИГ в космосе, пилотируемый корабль «Джемини-11» и ступень ракеты «Аджена», NASA, США (1966)

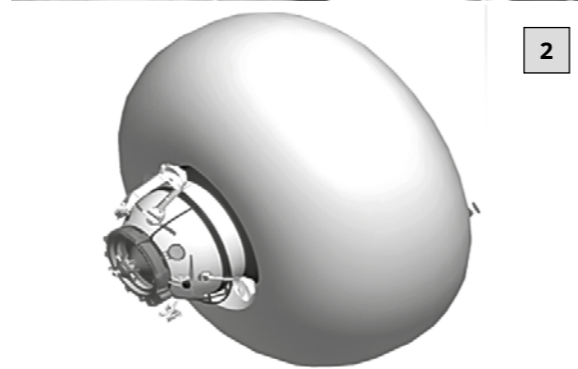
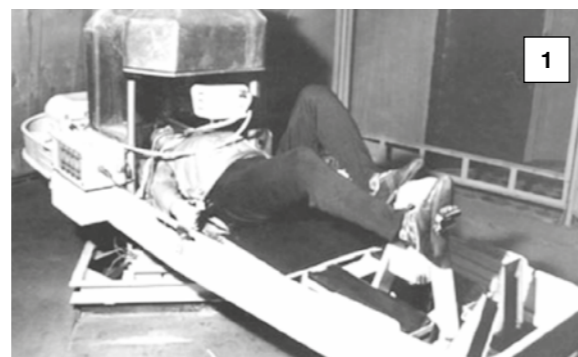
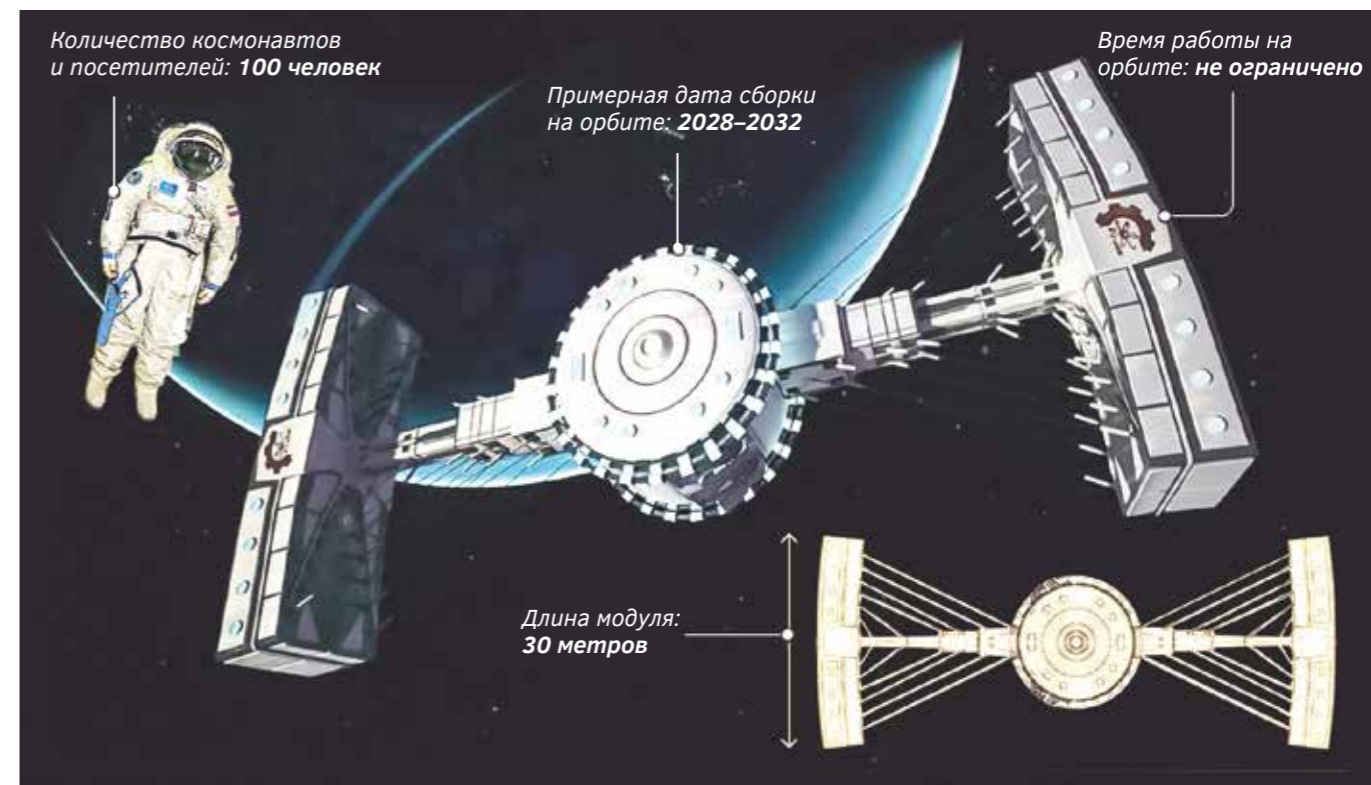


Рис. 7. ЦКР для ИГ: 1 — вид ЦКР 1-го поколения, СССР (1978); 2 — перспективный трансформируемый модуль для новой ЦКР, РКК «Энергия» имени С. П. Королёва, Россия (2016), по: Орлов, Колотева, 2017 [6, с. 15, 16]



Рис. 8. ОС «Наутилус-Икс», NASA, США (2011)

Рис. 9. Концепция новой российской космической базы «Мир-2». Проект группы авторов, Россия (2016)



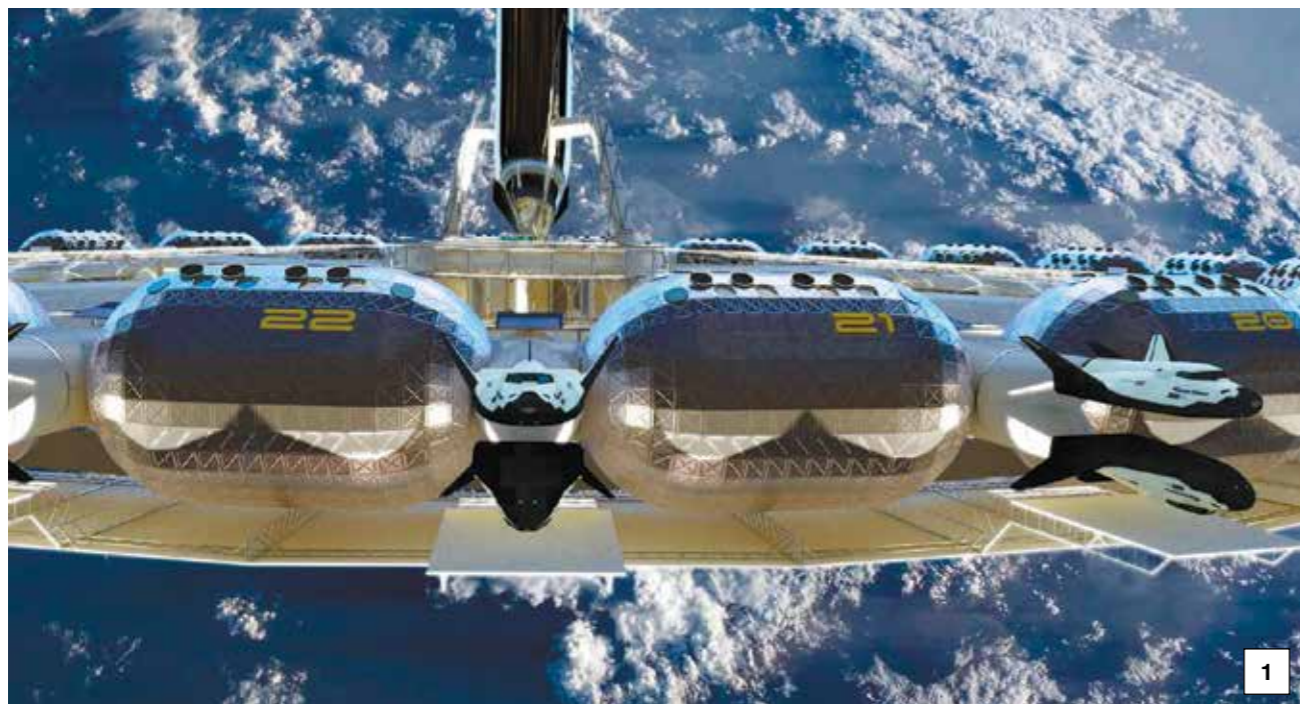


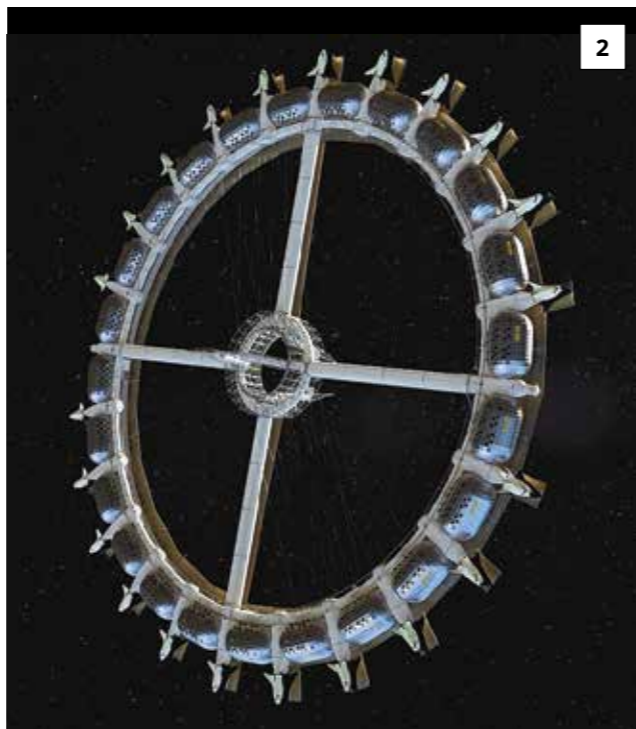
Рис. 10. OC Von Braun Space Station — отель для туристов с ИГ в ОКП (виды 1 и 2), визуализация концепции Gateway Foundation, США (2019-2020)

с назревшего применения ЦКР на МКС [6], в том числе в полетах до одного года, с дальнейшим переходом к полноценным системам ИГ для жизни людей вне Земли. Существует комплекс сложных медико-биологических, инженерных, технических, экономических и других вопросов, их необходимо исследовать и решать в процессе создания и применения систем ИГ в космосе.

Создание и внедрение систем ИГ в космосе чрезмерно затянулось. Пришло время изменить парадигму, выйти за достигнутые пределы и продолжить освоение космоса, экспансию вне Земли в новой ИГ-парадигме. Необходимо создавать в космосе среду, благоприятную для жизни и работы человека, сочетая зоны невесомости, ИГ и естественной гравитации (ЕГ) в открытом космосе и на небесных телах: ИГ в ОКП и межпланетных полетах; ЕГ + ИГ на Луне, Марсе и т. д.

Вопрос ИГ актуален с начала длительных полетов в 70-80-х годах XX века. Однако радикальное практическое решение висит, откладывается более 40 лет (!). Его необходимо и важно принять и исполнить. Для этого следует задать новые цели, сроки и правила игры. Пора перейти от исследований на Земле к исследованиям и практике ИГ для людей в космосе.

Около 25 лет назад академики РАН О. Г. Газенко и А. И. Григорьев написали в предисловии к книге о медико-биологических аспектах ИГ: «... мы не должны оказаться безоружными, если отсутствие земной силы тяжести будет



служить... препятствием для развития пилотируемой космонавтики в третьем тысячелетии» [4, с. 5].

Время искусственной гравитации пришло.



Рис. 11. «ЭкоКосмоДом», А. С. Юницкий, Беларусь (2019).
Цитир. по: Звезда, 28 марта 2020 г., с. 10
http://www.zvezda.by/sites/default/files/28sak-10_optim_1.pdf

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Существует длительная история исследований проблемы ИГ, разработки идей, технологий, проектов в России и мире в XIX–XXI веках. Сделан краткий анализ их эволюции, произведены периодизация, общая классификация, приведены важные примеры.

2. Без ИГ безопасное и эффективное освоение космоса, экспансия в космос, создание «космического» человека, длительная и постоянная безопасная и достойная жизнь людей вне Земли — невозможны. Целесообразно стимулировать и ускорить процесс внедрения технологий и систем ИГ: 2.1. осуществлять длительные полеты людей в космос с 2030 года (оптимистичный вариант) только с системами ИГ; 2.2. поставить сверхзадачу экспансии — достижения постоянной жизни людей в космосе в XXI веке, включая репродукцию, с полноценным применением ИГ.

3. Необходимо разработать новые требования и стандарты для жизни людей в космосе с обязательным применением ИГ и установить основные режимы с учетом целей пребывания в космосе, статуса людей (возраст, состояние здоровья, диапазон ИГ, время) и других факторов. Предложен вариант, включающий четыре основных режима ИГ.

4. Предстоит создать и применять новую космическую технику с ИГ для людей в космосе с учетом пп. 2 и 3.

5. Необходимо проводить национальные и международные конкурсы технологий и проектов ИГ с дальнейшей реализацией наилучших.

6. Предлагается создать международный центр (лабораторию) проблем ИГ с участием национальных космических агентств, организаций и других сообществ.

7. Целесообразно продолжать исследования, использовать знания об истории идей, технологий, проектов ИГ для развития науки, образования и практики освоения космоса.

«...мы не должны оказаться безоружными, если отсутствие земной силы тяжести будет служить... препятствием для развития пилотируемой космонавтики в третьем тысячелетии».

Литература

1. **Циолковский К.Э.** Грезы о Земле и небе // Циолковский К.Э. Путь к звездам. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 38 – 112.
2. **Циолковский К.Э.** Вне Земли: повесть. Калуга: Золотая аллея, 2008. 256 с.
3. **Шипов А.А.** Искусственная гравитация // Космическая биология и медицина. Т. III. Человек в космическом полете. Кн. 2. М.: Наука, 1997. С. 127 – 154.
4. **Котовская А.Р., Шипов А.А., Виль-Вильямс И.Ф.** Медико-биологические аспекты проблемы создания искусственной силы тяжести. М.: Слово, 1996. 204 с.
5. **Котовская А.Р.** Переносимость человеком перегрузок в космических полетах и искусственная гравитация // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 5 – 21. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-5-21
6. **Орлов О.И., Колотева М.И.** Центрифуга короткого радиуса как новое средство 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. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-7-11-18
7. **Кричевский С.В.** Аэрокосмическая деятельность: междисциплинарный анализ. М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 384 с.
8. **Кричевский С.В.** «Космический» человек: идеи, технологии, проекты, опыт, перспективы // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 1. С. 26 – 35. DOI: 10.30981/2587-7992-2020-102-1-26-35

9. **Майборода А.О.** Долговременная лунная база с искусственной гравитацией и минимальной массой конструкции // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 3. С. 36 – 43. DOI: 10.30981/2587-7992-2019-100-3-36-43
10. **Морозов С.Л.** Гомеостатический ковчег как главное средство в стратегии освоения космоса // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 3. С. 28 – 37. DOI: 10.30981/2587-7992-2018-96-3-28-3
11. **Морозов С.Л.** Идеология космической экспансии // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 1. С. 50 – 61. DOI: 10.30981/2587-7992-2019-98-1-50-61
12. **Эдельброк Эгберт К.А.** Компания SpaceBorn United: планируемые миссии по зачатию человека и родам в космосе // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 4. С. 26 – 36. DOI: 10.30981/2587-7992-2019-101-4-26-36
13. **Цыганков О.С.** Искусственная тяжесть в межпланетном полете: конструктивно-технологическое и социомедицинское измерение // Полет. 2013. № 4. С. 20 – 25.
14. **Адамович Б.А., Горшенин В.А.** Жизнь вне Земли. М.: Технология-индустрия, 1997. 591 с.
15. Космонавтика XXI века: попытка прогноза развития до 2001 года / Под ред. Б. Е. Чертока. М.: РТСофт, 2010. 864 с.
16. Патент № 2160692С2 РФ. Способ уменьшения отрицательного воздействия невесомости на живые организмы / Корабельников А.Т. Заявлено: 29.03.1995. Опубликовано: 20.12.2000. 6 с.

17. **Валеев А.Р., Зотов А.Н., Имаева Э.Ш., Тихонов А.Ю.** Создание искусственной гравитации при помощи колебательных систем с квазиулево́й жесткостью // Вестник ННГУ. 2011. № 4 – 5. С. 2051 – 2052.
18. **Ноордунг Г.** Проблема путешествия в мировом пространстве / сокр. пер. Б. М. Гинзбурга. Л.: ОНТИ НКТИ СССР, 1935. 96 с.
19. **Штернфельд А.А.** Полет в мировое пространство. М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1949. 140 с.
20. **Кричевский С.В.** Экологичные аэрокосмические технологии и проекты: методология, история, перспективы // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 3. С. 78 – 85. DOI: 10.30981/2587-7992-2018-96-3-78-85
21. **Сыромятников В.С.** 100 рассказов о стыковке и о других приключениях в космосе и на Земле. Часть 1: 20 лет назад. М.: Логос, 2003. 568 с.
22. Патент 2088491С1 РФ. Долговременный пилотируемый орбитальный тросовый комплекс / Веселова Т.К., Григорьев Ю.И., Демина Е.А. и др. Заявлено: 31.08.1993. Опубликовано: 28.08.1997. 12 с.
23. **Юницкий А.Э.** Особенности проектирования жилого космического кластера «Эко-КосмоДом» – миссия, цели, назначение // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты. Сб. материалов II Межд. научно-практич. конференции, 2019. Минск: Парадокс, 2019. С. 51 – 57.
24. NASA (США) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nasa.gov/> (Дата обращения: 17.07.2020).

References

1. **Tsiolkovskiy K.E.** Grezy o Zemle i nebe. Put' k zvezdam. Moscow, Academy of Sciences USSR, 1961, pp. 38 – 112.
2. **Tsiolkovskiy K.E.** Vne Zemli. Kaluga, Zolotaya alleya, 2008. 256 p.
3. **Shipov A.A.** Iskusstvennaya gravitatsiya. Kosmicheskaya biologiya i meditsina. Vol. III. Chelovek v kosmicheskom polete, book 2. Moscow: Nauka, 1997. Pp. 127 – 154.
4. **Kotovskaya A.R., Shipov A.A., Vil'-Vil'yams I.F.** Mediko-biologicheskie aspekty problemy sozdaniya iskusstvennoy sily tyazhesti. Moscow, Slovo, 1996. 204 p.
5. **Kotovskaya A.R.** Perenosimost' chelovekom peregruzok v kosmicheskikh poletakh i iskusstvennaya gravitatsiya. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2017, vol. 51, no. 5, pp. 5 – 21. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-5-5-21
6. **Orlov O.I., Koloteva M.I.** Tsentrifuga korotkogo radiusa kak novoe sredstvo profilaktiki neblagopriyatnykh effektor nevesomosti i perspektivnye plany po razrabotke problemy iskusstvennoy sily tyazhesti primenitel'no k mezhplanetnym poletam. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2017, vol. 51, no. 7, pp. 11 – 18. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-7-11-18
7. **Krichevskiy S.V.** Aerokosmicheskaya deyatel'nost': mezhdistsiplinarnyy analiz. Moscow, LIBROKOM, 2012. 384 p.
8. **Krichevskiy S.V.** "Kosmicheskii" chelovek: idei, tekhnologii, proekty, opyt, perspektivy. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2020, no. 1, pp. 26 – 35. DOI: 10.30981/2587-7992-2020-102-1-26-35

9. **Mayboroda A.O.** Dolgovremennaya lunnaya baza s iskusstvennoy gravitatsiyey i minimal'noy massoy konstruksii. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2019, no. 3, pp. 36 – 43. DOI: 10.30981/2587-7992-2019-100-3-36-43
10. **Morozov S.L.** Gomeostaticheskiy kovcheg kak glavnoe sredstvo v strategii osvoeniya kosmosa. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2018, no. 3, pp. 28 – 37. DOI: 10.30981/2587-7992-2018-96-3-28-3
11. **Morozov S.L.** Ideologiya kosmicheskoy ekspansii. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2019, no. 1, pp. 50 – 61. DOI: 10.30981/2587-7992-2019-98-1-50-61
12. **Edel'brok Egbert K.A.** Kompaniya SpaceBorn United: planiruemye missii po zachatiyu cheloveka i rodam v kosmose. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2019, no. 4, pp. 26 – 36. DOI: 10.30981/2587-7992-2019-101-4-26-36
13. **Tsygankov O.S.** Iskusstvennaya tyazhest' v mezhplanetnom polete: konstruktivno-tekhnologicheskoe i sotsiomedsinskoe izmerenie. Polet, 2013, no. 4, pp. 20 – 25.
14. **Adamovich B.A., Gorshenin V.A.** Zhizn' vne Zemli. Moscow, Tekhnologiya-industriya, 1997. 591 p.
15. Космонавтика XXI века: попытка прогноза развития до 2001 года. / Ed. B. E. Chertok. Moscow, RTSoft, 2010. 864 p.
16. **Korabel'nikov A.T.** Sposob umen'sheniya otritsatel'nogo vozdeystviya nevesomosti na zhiyye organizmy. Pat. RF no. 2160692C2 (2000).
17. **Valeev A.R., Zotov A.N., Имаева E.Sh., Tikhonov A.Yu.** Sozdanie iskusstvennoy gravitatsii pri pomoshchi kolebatel'nykh

- sistem s kvazinulevoy zhestkost'yu. Vestnik NNGU, 2011, no. 4 – 5, pp. 2051 – 2052.
18. **Noordung G.** Problema puteshestviya v mirovom prostranstve. Leningrad, ONTI NKTI USSR, 1935. 96 p.
19. **Shternfel'd A.A.** Polet v mirovooe prostranstvo. Moscow, Leningrad, Gosudarstvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoi literatury, 1949. 140 p.
20. **Krichevskiy S.V.** Ekologichnye aerokosmicheskije tekhnologii i proekty: metodologiya, istoriya, perspektivy. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2018, no. 3, pp. 78 – 85. DOI: 10.30981/2587-7992-2018-96-3-78-85
21. **Syromyatnikov V.S.** 100 rasskazov o stykovke i o drugikh priklyucheniyakh v kosmose i na Zemle. Part 1: 20 let nazad. Moscow, Logos, 2003. 568 p.
22. **Veselova T.K., Grigor'ev Yu.I., Demina E.A. et al.** Dolgovremennyy pilotiruemyy orbital'nyy trosovoy kompleks. Patent RF no. 2088491C1 (1997).
23. **Yunitskiy A.E.** Osobennosti proektirovaniya zhilogo kosmicheskogo klastera "EkoKosmoDom" – missiya, tseli, naznachenie. Bezraketnaya industrializatsiya kosmosa: problemy, idei, proekty. Materialy 2 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 2019. Minsk, Paradoкс, 2019, pp. 51 – 57.
24. NASA: official website. Available at: <https://www.nasa.gov/> (Retrieval date: 17.07.2020).



© Кричевский С.В., 2020

История статьи:

Поступила в редакцию: 18.07.2020

Принята к публикации: 09.08.2020

Модератор: Гесс Л.А.

Конфликт интересов: отсутствует

Для цитирования:

Кричевский С.В. Искусственная гравитация для людей в космосе: эволюция идей, технологий, проектов // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 3. С. 10 – 21.