



ОБРАЗОВАНИЕ: РАКУРСЫ И ГРАНИ

УДК 378:629.7
DOI 10.20339/AM.06-23.005

С.В. Резник,

д-р техн. наук, профессор
ORCID: 0000-0002-4837-6993
e-mail: sreznik@bmstu.ru

К.В. Михайловский,

канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0003-3424-3775
e-mail: konst_mi@mail.ru

И.Р. Шафикова,

старший преподаватель,
ORCID: 0000-0001-5814-0960
e-mail: shafikova@bmstu.ru

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА¹

Рассматривается проблема подготовки проектантов, конструкторов и технологов для создания орбитальных и напланетных сооружений в рамках укрупненной группы специальностей и направлений подготовки 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника». Актуальность этой работы обусловлена расширением планов строительства национальных и международных станций на орбитах Земли и Луны, строительства баз на поверхности небесных тел. Предполагается, что освоение небесных тел может начаться еще до конца текущего десятилетия со строительства баз на поверхности Луны. Отмечена важность реализации в таком строительстве модульного принципа, использования роботизированных механизмов, «умных» композиционных материалов, природных ресурсов небесных тел и энергии Солнца. Дана краткая характеристика зарубежных магистерских программ в области космического строительства и архитектуры. В качестве примера приведены ключевые положения нового учебного плана магистратуры по направлению подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», разработанного на кафедре СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Для формирования у выпускников магистратуры необходимых компетенций в области космического строительства в учебный план включен ряд новых, нетипичных для университета аэрокосмического профиля дисциплин.

Ключевые слова: космос, строительство, композиционные материалы, магистратура, план обучения.¹

¹ Настоящая публикация подготовлена в рамках выполнения работ по реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» по соглашениям с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2021-1191 от 30.09.2021 и № 075-15-2022-938 от 11.05.2022.

ADVANCED TRAINING OF SPECIALISTS FOR SPACE CONSTRUCTION

Sergey V. Reznik, Dr. Sc. (Technic), Professor, Head of Dpt. SM-13 at Bauman Moscow State Technical University, ORCID: 0000-0002-4837-6993, e-mail: sreznik@bmstu.ru

Konstantin V. Mikhailovski, Cand. Sc. (Technic), Docent at Bauman Moscow State Technical University, ORCID: 0000-0003-3424-3775, e-mail: konst_mi@mail.ru

Inna R. Shafikova, Senior lecturer at Bauman Moscow State Technical University, ORCID: 0000-0001-5814-0960, e-mail: shafikova@bmstu.ru

This article considers the issue of training designers and technicians for the creation of orbital and planetary structures within the group of specialties 24.00.00 "Aviation and rocket and space technology". This work is relevant due to the expanding plans for the construction of national and international space stations in the Earth and the Moon orbits, and the construction of bases on the surface of celestial bodies. It is assumed that the exploration of celestial bodies can begin before the end of this decade with the bases created on the surface of the Moon. It is noted that the implementation of these projects must involve the modular principle, the use of robotic mechanisms, smart composite materials, natural resources of celestial bodies and solar energy. Several international master's degree programs in space construction and architecture are described in brief. As an example, the key features of the new master's degree curriculum in the field of training 24.04.01 "Rocket complexes and Cosmonautics" developed at the Department of SM-13 "Rocket and Space Composite Structures" at the Bauman Moscow State Technical University are given. A number of new disciplines, new for an aerospace university have been included in the curriculum for the master's degree graduate to form the necessary competencies in the field of space construction.

Keywords: space, construction, composite materials, master's degree, training plan.

Введение

Одним из приоритетов в научно-технологическом и социально-экономическом развитии нашей страны многие годы считалось освоение космоса. В начале 70-х годов прошлого века сложились предпосылки для многостороннего международного сотрудничества в космосе (пилотируемые полеты международных экипажей, космический туризм, международная космическая станция, исследование небесных тел с помощью автоматических станций и др.). Были сформированы творческие коллективы из специалистов разных стран для осуществления в космосе достаточно сложных междисциплинарных проектов. Однако в последние годы зарубежные страны форсируют работы над проектами освоения небесных тел без участия России. Речь идет о создании развитой инфраструктуры напланетных сооружений, призванной де-факто закрепить владение новыми территориями. Без наращивания собственных работ в этой области и организации опережающей подготовки специалистов для космического строительства наша страна не сможет составить достойную конкуренцию другим странам.

Следует отметить, что такая подготовка может и должна быть проведена с учетом имеющегося опыта подготовки инженеров, магистров и бакалавров в рамках укрупненной группы специальностей и направлений подготовки 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника». Как известно [1], методологической основой любых средств совершенствования учебного процесса является сравнительная педагогика. Следуя ее принципам, необходимо связать инновации в учебном процессе с актуальностью подготовки кадров для конкретной предметной области, проанализировать опыт отечественных и зарубежных участников, заимствовать и адаптировать лучшие практики с учетом собственных ресурсных возможностей. Вместе с тем сравнительная педагогика не

дает готовых и универсальных решений, а лишь определяет принципы и оперирует примерами, оставляя заинтересованным большой простор для самостоятельных действий.

Цель настоящей работы: Определение рационального сочетания учебных дисциплин в новой образовательной программе подготовки магистров для космического строительства, реализуемой в рамках направления подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика».

Задачи

1. Выявление актуальных направлений исследований и разработок, связанных с организацией строительства орбитальных и напланетных сооружений.

2. Анализ современного состояния программ подготовки магистров для космического строительства в зарубежных университетах.

3. Выбор дисциплин междисциплинарного цикла, необходимых для системной подготовки магистров в области космического строительства.

Основная часть

Новый этап в освоении космоса

Начавшееся десятилетие может стать новым этапом в освоении космоса в связи с планами отправки на Луну пилотируемых экспедиций и началом строительства баз для постоянного обитания.

В соответствии с программой NASA "Artemis-1" 16 ноября 2022 г. мощной ракетой-носителем SLS был запущен к Луне в беспилотном варианте космический корабль "Orion", совершивший выход на окололунную орбиту и благополучно вернувшийся на Землю 11 декабря того же года. В 2024 г. облет Луны по программе "Artemis-2" совершит "Orion" с экипажем. Программой "Artemis-3" намечена высадка американских астронавтов на поверхность Луны

в 2025 г. Частью программы “Artemis” должна стать орбитальная станция на окололунной орбите, которую NASA создает в рамках кооперации с национальными космическими агентствами ESA, JAXA, ASC-CSA. Эта станция обеспечит снабжение лунной инфраструктуры и будет служить площадкой для освоения дальнего космоса. В 2027 г. в рамках “Artemis-4” запланирована стыковка на орбите Луны корабля “Orion” с орбитальной станцией “Lunar Gateway”.

Китай последовательно реализует собственную лунную программу. Среди достижений последних лет – работа лунохода «Юйту-2», впервые высаженного автоматической станцией «Чаньэ-4» (“Change-4”) на теневую сторону Луны в районе кратера Фон Карман 3 января 2019 г. Передачу информации вел спутник связи с окололунной орбиты. В 2021 г. Китай начал эксплуатацию на околоземной орбите национальной станции «Тянгун-1» (“Tiangong-1”). К 2028 г. предполагается с помощью автоматических средств развернуть на Луне инфраструктуру постоянной базы с энергопитанием от ядерного реактора. Тайконавты высадятся на территорию, приспособленную для комфортной жизни.

Россия пока не является лидером в начавшейся «космической гонке». После длительного перерыва в 2023 г. к Луне будет запущена автоматической станции «Луна-25». Продолжаются работы по созданию многоместного пилотируемого корабля нового поколения «Орел». Имеются планы полетов на этих кораблях к Луне с космодрома «Восточный». К сожалению, точные прогнозы реализации намеченных планов дать невозможно в силу ряда организационных, финансовых и технических проблем.

Первые лунные космические корабли, созданные более 50 лет назад, были пригодны лишь для кратковременного пребывания на поверхности. Так, советский лунный космический корабль ЛК (11Ф94) был рассчитан на одного космонавта (рис.), а американский корабль – на двух астронавтов. Понятно, что размеры кабины и запасы кислорода в этих кораблях исключали длительную работу экипажа.

С конца 40-х годов прошлого века и до наших дней накоплен большой объем технических предложений касательно космической инфраструктуры, включающей орбитальные и напланетные сооружения [2–18]. Общепринятым является то, что напланетная база должна включать:

- ◆ защищенные сооружения большого объема для персонала;
- ◆ энергетические, технологические и складские сооружения;
- ◆ системы связи;
- ◆ стартовые и посадочные площадки для ракет;
- ◆ стоянки для колесного транспорта.

В известных проектах массогабаритные характеристики и конструктивно-технологические решения сооружений подчинены требованиям стойкости в условиях вакуума,

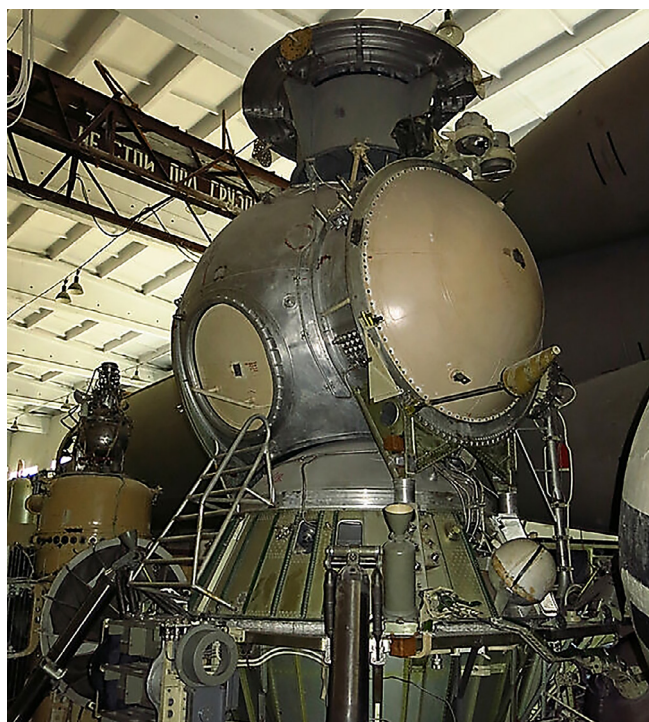


Рис. Макет советского лунного корабля в демонстрационном зале кафедры СМ-1 МГТУ им. Н.Э. Баумана

действия потоков корпускулярной радиации, метеороидов, теплосмен с существенными перепадами температур. Тем не менее некоторые проблемы, такие как защита от пыли, пока не нашли эффективного решения.

Различные проекты строительства напланетных сооружений роднит:

- ◆ модульный принцип устройства, высокая степень автоматизации процессов доставки компонентов и оборудования и их развертывания в заданном районе;
- ◆ включение природных материалов в формирование укрытий;
- ◆ использование энергии Солнца, ядерных реакторов или изотопных генераторов для производства электрической энергии, строительных материалов и рабочих сред (вода, кислород и компоненты ракетных топлив) из природного сырья.

Принципиальную новизну в планы строительства космических сооружений могут внести роботизированные аддитивные технологии и технологии синтеза гибридных композиционных материалов, совместимых с природными материалами типа лунного реголита. Композиционные материалы обладают заметными преимуществами перед металлами и сплавами благодаря высокой удельной прочности, удельной жесткости и ударной стойкости, малым значениям коэффициента линейного термического расширения. Их характеристики можно регулировать, изменяя количество и характеристики наполнителей, углов укладки слоев.

Они могут стать основой для получения «умных» («интеллектуальных») материалов, которые способны изменять форму, размеры, прочность и гибкость изделий, термическое сопротивление и теплоемкость, поглощательную и излучательную способность поверхности, сорбционную способность в соответствии с заданной программой или под действием факторов окружающей среды, таких как вакуум, нагревание или остывание, освещение солнечным светом. Разработку таких материалов можно считать актуальной проблемой космического строительства.

Следует отметить, что и само космическое строительство представляет собой новое обширное поле междисциплинарных научных исследований и разработок, опирающихся на методы механики, теплофизики, материаловедения, химии неорганических и высокомолекулярных соединений, робототехники, автоматического управления и др. Многочисленные новые и сложные вопросы космического строительства следует решать в рамках системного подхода, применяя методы системной инженерии. Критически важно начать опережающую подготовку специалистов по космическому строительству для сохранения конкурентоспособности в освоении космоса.

Примеры опережающей подготовки специалистов для нового инженерного дела

В истории нашей страны не раз возникала необходимость подготовки специалистов для нового инженерного дела, имеющего чрезвычайную важность. В конце 30-х годов прошлого века в преддверии мировой войны в СССР развернулась активная подготовка специалистов по авиационной технике, артиллерии и танкам. Затем в послевоенный период в учебных институтах будущие специалисты по паровым котлам осваивали науку строительства ядерных реакторов, авиаторы и артиллеристы – производство ракет, электромеханики – разработку бортовых радиолокаторов и космических антенн. И это была не работа на опережение, а своего рода погоня за ушедшими вперед конкурентами.

Известно, что в момент окончания Второй мировой войны 3 сентября 1945 г. в США было принято решение о разработке планов нанесения ядерных ударов по территории союзника – СССР – под предлогом «стратегического сдерживания» [19; 20]. В условиях крайней опасности советское правительство было вынуждено сосредоточить силы на создании систем реактивного вооружения и ядерного оружия, способных нанести противнику непоправимый ущерб. Постановлением Совета Министров СССР от 13 мая 1946 г. № 1017-419сс был образован Специальный комитет по реактивной технике для координации работ министерств в данной области и кадрового обеспечения. К числу важнейших реактивных вооружений были отнесены управляемые баллистические ракеты дальнего действия.

В 1947–1950 гг. в МВТУ им. Н.Э. Баумана были организованы Высшие инженерные курсы по изучению ракетной техники, на которых прошли обучение несколько тысяч работников оборонных предприятий. В 1946–1948 гг. были усовершенствованы программы обучения на имеющихся кафедрах и открыты новые, такие как кафедра реактивного вооружения. Среди первых преподавателей новых кафедр были Ю.А. Победоносцев, В.В. Уваров, В.И. Феодосьев, Л.М. Гайдуков, С.П. Королев, Б.Е. Черток [21]. В трудные для страны 40–50-е годы прошлого века были сформированы новые научные школы и конструкторские коллективы С.П. Королева, М.К. Янгеля, В.Н. Челомея, В.П. Бармина, Н.А. Пилюгина, С.Н. Рязанского, И.В. Курчатова, А.А. Александрова, Ю.Б. Харитона и др.

Одним из главных препятствий в создании баллистических ракет дальнего действия не только в СССР, но и в США стала проблема «теплового барьера», вызванного предельным воздействием аэродинамического нагрева на конструкции при высоких скоростях полета в атмосфере. Впервые в мире эту проблему решили в 1956 г. советские специалисты (выпускники МВТУ им. Н. Э. Баумана В.Н. Иорданский и Г.Г. Конради из НИИ-88 и сотрудник ОКБ-1 А.А. Северов), применив для тепловой защиты стального корпуса головной части экспериментальной управляемой баллистической ракеты М5РД, созданной на основе ракеты Р-5М (8К-51), жертвенное абляционное покрытие из полимерного композиционного материала – асбобластика [22]. Был открыт путь к созданию баллистических ракет межконтинентальной дальности, созданию спускаемых аппаратов пилотируемых космических кораблей и автоматических межпланетных станций [23]. Концентрация ресурсов, политическая воля руководства нашей страны, самоотверженность и массовый энтузиазм разработчиков новой техники сыграли решающую роль в установлении паритета стратегических вооружений к началу 70-х годов прошлого века.

К бесспорным достижениям отечественной науки и техники следует отнести запуск первого искусственного спутника Земли, полеты первых автоматических станций к Луне, Венере и Марсу, первый в мире полет человека в космос, первые групповые полеты и первый выход человека в открытый космос. Эти достижения были бы невозможны без участия инженеров – выпускников МВТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, ЛМИ, ХАИ, КуАИ, КАИ и других вузов. Однако в истории нашей страны была и неудачная попытка опередить американцев в освоении Луны в рамках программы «Н-1-ЛЗ», о которой уместно вспомнить с учетом описанных выше зарубежных планов освоения космоса.

Американская программа “Apollo”, так же как теперь “Artemis”, достаточно широко освещалась не только в специальной литературе, но и в средствах массовой информации. Она была объявлена NASA еще в сентябре 1960 г., но после

успешного полета Ю.А. Гагарина приобрела для американцев новое значение. Выступая в Конгрессе с изложением программы "Apollo" 25 мая 1961 г., президент J.F. Kennedy пообещал, что американцы высадятся на Луне не позднее 1970 г. На следующий день после посадки "Apollo-11" с американскими астронавтами на Луну 21 июля 1969 г. центральная газета «Правда» вышла с огромным заголовком на первой полосе «Братский привет народной Польше!» и материалами о визите советского руководства в ПНР. Успех американцев не замалчивался, но был отмечен в статьях корреспондента Б. Стрельникова и академика А.П. Виноградова не на первой полосе. Следует признать, что американцы своевременно осознали свое отставание и вложили в полеты к Луне огромные средства, на высоком уровне организовали производство и испытание ракетно-космической техники, провели реформу образования. Теперь нам пришло время в очередной раз сосредоточиться на исправлении отставания.

Содержание опережающей подготовки специалистов в области космического строительства

В современных университетах аэрокосмического профиля России специалистов по космическому строительству пока не готовят. Встречается мнение, что инженер широкого профиля специальности 24.05.01 может быть компетентен в делах космического строительства. Да, может, но не факт, что его разработки сразу приобретут научную и практическую ценность. Потребуется несколько лет на «дозревание», при том что некоторые базовые знания, умения и навыки им освоены. Поэтому с прицелом на перспективу (2025–2035) необходимо начать подготовку в прикладной (инженерной) магистратуре проектантов, способных вести глубокий и всесторонний анализ междисциплинарных проблем, а в специалитете – разработчиков: инженеров-конструкторов и инженеров-технологов. Для этого необходима постановка новых специальных курсов, развитие лабораторной, технологической и испытательной базы.

За рубежом имеются примеры магистерских программ по космическому строительству и архитектуре [24–32]. Как следует из анализа, [33] их общие признаки следующие.

- ◆ Системный подход.
- ◆ Изучение исторического опыта создания космической техники.
- ◆ Развитие кругозора.
- ◆ Выработка ключевых компетенций по:
 - ✓ баллистике;
 - ✓ конструкции ракет и космических аппаратов;
 - ✓ тепловым и прочностным расчетам;
 - ✓ методам оптимизации.

В настоящее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках программы «Приоритет–2030» разработана основная профессиональная образовательная программа (ОПОП) «Компо-

зиционные материалы с интеллектуальными свойствами для космического строительства и архитектуры» для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика». Обучение по данной программе планируется начать 1 сентября 2023 г. Нормативный срок, общая трудоемкость освоения ОПОП (в зачетных единицах) для очной формы обучения и соответствующая квалификация (степень) приведены в табл.

Таблица

Сроки, трудоемкость освоения ОПОП и квалификация выпускников

Наименование программы	Квалификация		Нормативный срок освоения ОПОП	Трудоемкость (в зачетных единицах)*
	Код ОПОП в соответствии с принятой классификацией	Наименование		
«Ракетные комплексы и космонавтика» Направленность «Композиционные материалы с интеллектуальными свойствами для космического строительства и архитектуры»	24.04.01	Магистр	2 года	120**

* – одна зачетная единица эквивалентна 27 астрономическим часам, или 36 академическим часам (академический час составляет 45 минут);

** – объем программы магистратуры, реализуемый за один учебный год, составляет не более 70 з. е. вне зависимости от применяемых образовательных технологий, реализации программы с использованием сетевой формы, реализации программы по индивидуальному учебному плану (за исключением ускоренного обучения), а при ускоренном обучении – не более 80 з. е.

Данная программа не имеет пока аналогов в отечественных университетах. Помимо дисциплин, обязательных для студентов магистратуры, предусмотрены дисциплины, ориентированные на космическое строительство (выделены жирным шрифтом).

Перечень дисциплин, вошедших в ОПОП «Композиционные материалы с интеллектуальными свойствами для космического строительства и архитектуры»

- ◆ Иностранный язык
- ◆ Математическое моделирование
- ◆ Информационные технологии в разработке новой техники
- ◆ Формы и методы научно-исследовательской работы
- ◆ Методология научного познания
- ◆ Математическое моделирование теплонагруженных композитных конструкций
- ◆ **Механика космического полета**
- ◆ Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов
- ◆ Управление инновационными проектами
- ◆ **Природные ресурсы небесных тел Солнечной системы**

- ♦ Испытания композитных материалов и конструкций
- ♦ **Основы космической техники**
- ♦ Оптимизация композитных конструкций и технологий
- ♦ **Строительство в космосе**
- ♦ Теория и методы решения обратных задач
- ♦ **Дисциплина по выбору (ДВ) № 1 (основная): Архитектура космических сооружений**
- ♦ **ДВ №1 (дополнительная): Комфортная среда обитания в космосе**
- ♦ **ДВ №2 (основная): Интеллектуальные материалы**
- ♦ **ДВ №2 (дополнительная): Функциональные материалы с активацией в космосе**

Предусмотрены: самостоятельная научно-исследовательская работа (получение первичных навыков); лабораторные работы и макетирование; практики: научная, педагогическая, эксплуатационная, преддипломная. Освоение программы должно заканчиваться защитой выпускной квалификационной работы. Планируется, что до 2030 г. обучение по программе пройдут 80 студентов.

В рамках ОПОП разработаны собственные рабочие программы дисциплин и фонды оценочных средств, отражающие современное состояние отечественных и зарубежных исследований и разработок в данной предметной области. На занятиях будут излагаться варианты дальнейшего освоения космоса с проектами формирования инфраструктуры на орбитах Земли, Луны и на небесных телах. Будут рассмотрены методы и средства роботизированного космического строи-

тельства с применением природных материалов. Например, при изучении дисциплины «Природные ресурсы небесных тел Солнечной системы» ряд занятий будет посвящен особенностям состава Луны и Марса с оценкой пригодности природных материалов к глубокой переработке для получения строительных элементов. Намечено обсуждение возможности адаптации существующих композиционных материалов к условиям длительной работы в открытом космосе и на поверхности небесных тел, а также задачи создания гибридных композиционных материалов с интеллектуальными свойствами. К разработке этой ОПОП привлечены сотрудники предприятий ГК «Роскосмос», РАН и вузов-партнеров. Некоторые из них примут участие в учебном процессе.

Заключение

В связи с высокой международной активностью в освоении Луны и других небесных тел актуальна организация опережающей подготовки специалистов для космического строительства в аэрокосмических университетах страны. Как показывает опыт МГТУ им. Н.Э. Баумана, при составлении новых ОПОП в этой области за основу могут быть приняты действующие программы специалитета и магистратуры по направлениям подготовки 24.04.01 и 24.05.01 с заменой имеющихся учебных дисциплин на ряд новых.

Литература

1. Исследование по сравнительному образованию: подходы и методы / Под ред. М. Брэя, Б. Адамсона, М. Мейсона. Пер. с англ. М.Л. Ваховского, И.В. Разнатовского. Под науч. ред. Л.Ц. Ваховского. 2-е изд., пересмотр. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 472 с.
2. *Багров А.В.* От К.Э. Циолковского к современным представлениям о космических поселениях // К.Э. Циолковский. Проблемы и будущее российской науки и техники: Материалы 52-х Научных чтений памяти К. Э. Циолковского. Калуга: Изд-во АКФ «Политоп», 2017. С. 119–122.
3. *Von Braun W., Ordway F.I. III, Dooling D.* History of rocketry and space travel. New York: Thomas Y. Crowell Co., 1986. 244 p.
4. *Гэтленд К.У.* Космонавтика ближайших лет / Пер. с англ.; Предисл. Г.И. Покровского. М.: Воениздат, 1964. 416 с.
5. Космическая эра. Прогнозы на 2001 год / Сост. Ю. Конеччи, М. Хантер II, Р. Трапп; Пер с англ. под ред. В.С. Емельянова. М.: Мир, 1970. 420 с.
6. *Эрике К.А.* Будущее космической индустрии. М.: Машиностроение, 1979. 200 с.
7. The illustrated encyclopedia of space technology. A comprehensive history of space exploration / Ed. K. Gatland. New York: Crown Publishers, 1981. 290 p.
8. История развития отечественной пилотируемой космонавтики / Науч. ред. И.В. Бармин. М.: Издат. дом «Столичная энциклопедия», 2015. 752 с.
9. *Гвамичава А.С., Кошелев В.А.* Строительство в космосе. М.: Знание, 1984. 64 с.
10. Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года. / Б.Е. Черток, В.В. Аполлонов, О.А. Арин и др.; Отв. ред. Б.Е. Черток. М.: РТСофт, 2010. 864 с.
11. *Бармин И., Егоров А.* Проект Лунного поселения // Техника – молодежи. 2003. № 6. С. 30–35.
12. *Adams C.M., Petrov G.* The surface endoskeletal inflatable module (SEIM) // Proceed. 10th Biennial Int. Conf. on Engineering, Construction,

References

1. Comparative education research: approaches and methods / Ed. M. Bray, B. Adamson, M. Mason. 2nd edition. Hong Kong: Comparative Education Centre, University of Hong Kong; Springer, 2014. 453 p.
2. *Bagrov, A.V.* From Tsiolkovsky to the modern concepts of space settlements // K.E. Tsiolkovsky. The issues and future prospects of the Russian science and technology: Proc. 52nd Scientific conference in the memory of K.E. Tsiolkovsky. Kaluga: Polytop Publ. House, 2017. P. 119–122.
3. *Von Braun, W., Ordway, F.I. III, Dooling, D.* History of rocketry and space travel. New York: Thomas Y. Crowell Co., 1986. 244 p.
4. *Gatland, K.W.* Astronautics in the sixties. John Wiley & Sons, 1962. 388 p.
5. Space age in fiscal year 2001: Proceed. 4th AAS Goddard Memorial Symposium (Washington, DC, 15–16 March, 1966) / Ed. Konecni E.B., Hunter M.W., Trapp R.F. Tarzana, Calif.: AAS Publications Office, 1967. 446 p.
6. *Erike, K.A.* The future of space industry. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1979. 200 p.
7. The illustrated encyclopedia of space technology. A comprehensive history of space exploration / Ed. K. Gatland. New York: Crown Publishers, 1981. 290 p.
8. The history of Russian manned cosmonautics / Ed. I.V. Barmin. Moscow: Stolichnaya entsiklopediya Publ., 2015. 752 p.
9. *Gvamichava, A.S., Koshelev, V.A.* Construction in space. Moscow: Znanie Publ., 1984. 64 p.
10. Cosmonautics of the XXI century. Attempt to forecast development up to 2101 / Ed. B.E. Chertok; B.E. Chertok, V.V. Apollonov, O.A. Arin et al. Moscow: RTSoft Publ., 2010. 864 p.
11. *Barmin, I., Egorov, A.* Project of Moon settlement. *Tekhnika – molodezhi*. 2003. No. 6. P. 30–35.
12. *Adams, C.M., Petrov, G.* The surface endoskeletal inflatable module (SEIM). Proceed. 10th Biennial Int. Conf. on Engineering, Construction,

and Operations in Challenging Environments and 2nd NASA/ARO/ASCE Workshop on Granular Materials in Lunar and Martian Exploration (League City/Houston, TX, March 5–8, 2006). Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2006. 8 p. DOI:10.1061/40830(188)59

13. *Hinkle J. et al.* Design development and testing for an expandable lunar habitat // Proceed. AIAA Space 2008 Conf. and Exposition (San Diego, CA, September 9–11, 2008). AIAA, 2008. 10 p. DOI: 10.2514/6.2008-7634

14. *Inocente D. et al.* Master planning and space architecture for a moon village // Proceed. 70th Int. Astronautical Congress (IAC) (Washington, DC, October 21–25, 2019). 15 p.

15. *Valle G., Litteken D., Jones T.C.* Review of habitable softgoods inflatable design, analysis, testing, and potential space applications // Proceed. AIAA Scitech 2019 Forum (San Diego, CA, January 7–11, 2019). AIAA, 2019. DOI:10.2514/6.2019-1018

16. *Багров А.В., Леонов В.А.* Создание космодрома на Луне методом наплавления реголита на монолитную поверхность // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 4 (97). С. 78–83.

17. *Seedhouse E.* Bigelow Aerospace: colonizing space one module at a time. Heidelberg: Springer-Praxis, 2015. 201 p.

18. *Хамиц И.И., Филиппов И.М., Бурлыков Л.С. и др.* Трансформируемые крупногабаритные конструкции для перспективных пилотируемых комплексов // Космическая техника и технологии. 2016. Вып. 2 (13). С. 23–33.

19. *Rosenberg D.A.* The origins of overkill: nuclear weapons and American strategy 1945–1960 // *International Security*. 1983. Vol. 7, No. 4. P. 3–71.

20. *Rosenberg D.A.* American atomic strategy and the hydrogen bomb decision // *The Journal of American History*. 1979. (66.1): P. 62–87. DOI: 10.2307/1894674

21. М-1: 50 лет после старта / Под ред. В.И. Усюкина, А.И. Ганичева, С.В. Резника. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 216 с.

22. *Reznik S.V., Prosuntsov P.V.* History and experience of overcoming thermal barriers in rocket and space technology: 1. Ballistic missiles. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 971 (2020) 052047. 8 p. DOI: 10.1088/1757-899X/971/5/052047

23. *Reznik S., Prosuntsov P.* History and experience of overcoming thermal barriers in rocket and space technology: 2. Ballistic and sliding descent of spaceships // AIP Conf. Proceedings 2503 (2022), 020011. 10 p. DOI: 10.1063/5.0099420

24. *Häuplik-Meusburger S., Bannova O.* Space architecture education for engineers and architects: designing and planning beyond Earth (space and society). Wien: Springer-Verlag GmbH, 2016. 541 p.

25. *Bannova O.* Space architecture: human habitats beyond planet Earth. DOM Publishers, 2021. 240 p.

26. *Häuplik-Meusburger S., Bishop S.* Review: studies and architecture of habitability missions in mockups and simulated environments. In: *Space Habitats and Habitability. Space and Society*. Springer, Cham., 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-69740-2_4

27. *Häuplik-Meusburger S.* Architecture for astronauts. An activity-based approach. Wien: Springer-Verlag GmbH, 2011. 316 p.

28. *Neumerkel R., Vecerdi M., Häuplik-Meusburger S.* Design of an autonomously deployable Mars habitat // Proceed. 50th Int. Conf. on Environmental Systems (Lisbon, Portugal, July 12–15, 2021). 12 p.

29. *Howe A.S., Sherwood B.* Out of this world: the new field of space architecture. Reston, VA: AIAA, 2009. 400 p. DOI: 10.2514/4.479878

30. *Leach N.* Space architecture: the new frontier for design research // *Architectural design*. 2014. Vol. 84, No. 6. DOI: 10.1002/ad.1826

31. *Caratelli P.* Space architecture: the rise of a new discipline in architecture and design curricula / Ed. T. Ahram, R. Taiar, S. Colson, A. Choplin // Proceed. Int. Conf. on Human Interaction and Emerging Technologies IHET 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020. Vol. 1018. Springer, Cham. P. 98–104. DOI: 10.1007/978-3-030-25629-6_16

32. *Naser M.Z.* Extraterrestrial construction materials // *Progress in Materials Science*. 2019. Vol. 105 (4). 100577. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2019.100577

33. Аэрокосмическое образование в России. Особенности подготовки кадров в условиях глобальных изменений / Под ред. Д.А. Козореза. М.: Изд-во МАИ, 2022. 160 с.

and Operations in Challenging Environments and 2nd NASA/ARO/ASCE Workshop on Granular Materials in Lunar and Martian Exploration (League City/Houston, TX, March 5–8, 2006). Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2006. 8 p. DOI: 10.1061/40830(188)59

13. *Hinkle J. et al.* Design development and testing for an expandable lunar habitat. Proceed. AIAA Space 2008 Conf. and Exposition (San Diego, CA, September 9–11, 2008). AIAA, 2008. 10 p. DOI: 10.2514/6.2008-7634

14. *Inocente D. et al.* Master planning and space architecture for a moon village. Proceed. 70th Int. Astronautical Congress (IAC) (Washington, DC, October 21–25, 2019). 15 p.

15. *Valle G., Litteken D., Jones T.C.* Review of habitable softgoods inflatable design, analysis, testing, and potential space applications // Proceed. AIAA Scitech 2019 Forum (San Diego, CA, January 7–11, 2019). AIAA, 2019. DOI:10.2514/6.2019-1018

16. *Bagrov A.V., Leonov V.A.* Constructing a cosmodrome on the Moon by fusing regolith onto monolithic surface. *Aerospace sphere*. 2018. No. 4 (97). P. 78–83.

17. *Seedhouse E.* Bigelow Aerospace: colonizing space one module at a time. Heidelberg: Springer-Praxis, 2015. 201 p.

18. *Khamits I.I., Filippov I.M., Burylov L.S. et al.* Deployable large-scale structures for perspective manned spacecraft. *Kosmicheskaya tekhnika i tehnologii*. 2016. Iss. 2 (13). P. 23–33.

19. *Rosenberg D.A.* The origins of overkill: nuclear weapons and American strategy 1945–1960. *International Security*. 1983. Vol. 7, No. 4. P. 3–71.

20. *Rosenberg D.A.* American atomic strategy and the hydrogen bomb decision. *The Journal of American History*. 1979. (66.1): P. 62–87. DOI: 10.2307/1894674

21. М-1: 50 years after launch / Eds. V.I. Usiukin, A.I. Ganichev, S.V. Reznik. Moscow: Bauman MSTU Publ., 1998. 216 p.

22. *Reznik S.V., Prosuntsov P.V.* History and experience of overcoming thermal barriers in rocket and space technology: 1. Ballistic missiles. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 971 (2020) 052047*. 8 p. DOI: 10.1088/1757-899X/971/5/052047

23. *Reznik S., Prosuntsov P.* History and experience of overcoming thermal barriers in rocket and space technology: 2. Ballistic and sliding descent of spaceships. *AIP Conf. Proceedings 2503 (2022) 020011*. 10 p. DOI: 10.1063/5.0099420

24. *Häuplik-Meusburger S., Bannova O.* Space architecture education for engineers and architects: designing and planning beyond Earth (space and society). Wien: Springer-Verlag GmbH, 2016. 541 p.

25. *Bannova O.* Space architecture: human habitats beyond planet Earth. DOM Publishers, 2021. 240 p.

26. *Häuplik-Meusburger S., Bishop S.* Review: studies and architecture of habitability missions in mockups and simulated environments. In: *Space Habitats and Habitability. Space and Society*. Springer, Cham., 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-69740-2_4

27. *Häuplik-Meusburger S.* Architecture for astronauts. An activity-based approach. Wien: Springer-Verlag GmbH, 2011. 316 p.

28. *Neumerkel R., Vecerdi M., Häuplik-Meusburger S.* Design of an autonomously deployable Mars habitat. Proceed. 50th Int. Conf. on Environmental Systems (Lisbon, Portugal, July 12–15, 2021). 12 p.

29. *Howe A.S., Sherwood B.* Out of this world: the new field of space architecture. Reston, VA: AIAA, 2009. 421 p. DOI: 10.2514/4.479878

30. *Leach N.* Space architecture: the new frontier for design research. *Architectural design*. 2014. Vol. 84, No. 6. DOI: 10.1002/ad.1826

31. *Caratelli P.* Space architecture: the rise of a new discipline in architecture and design curricula / T. Ahram, R. Taiar, S. Colson, A. Choplin, eds. Proceed. Int. Conf. on Human Interaction and Emerging Technologies IHET 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020. Vol. 1018. Springer, Cham. P. 98–104. DOI: 10.1007/978-3-030-25629-6_16

32. *Naser M.Z.* Extraterrestrial construction materials. *Progress in Materials Science*. 2019. Vol. 105 (4). DOI:10.1016/j.pmatsci.2019.100577

33. Aerospace education in Russia. Features of specialists' training in the context of global changes / Ed. D.A. Kozorez. Moscow: MAI Publ., 2022. 160 p.