

**Совещание ФУМО по УГСН 24.00.00
«Авиационная и ракетно-космическая техника»
26-30 сентября 2022 г., г. Москва**



**Кафедра СМ13 «Ракетно-космические композитные
конструкции»**

МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Резник С.В., Гузева Т.А., Михайловский К.В.,
Просунцов П.В., Шафикова И.Р.**

**К опережающей подготовке специалистов в
области космического строительства**

План презентации

- **Актуальность проблемы**
- **Цели и задачи**
- **Орбитальные сооружения**
- **Напланетные сооружения**
- **Активность университетов в области космического строительства и архитектуры**
- **Заключение**

Актуальность проблемы

В ближайшие годы нашей стране предстоит нарастить усилия для сохранения передовых позиций в освоении космоса, создать научные заделы для решения новых сложных задач в условиях международной конкуренции. **Эти заделы должны включать опережающую подготовку специалистов в области космического строительства и архитектуры.**

В истории космонавтики вопросы строительства в космосе всегда были в центре внимания. Идеи К.Э. Циолковского, Вернера фон Брауна, В.П. Бармина, К.П. Феоктистова, других ученых не потеряли актуальности и в наши дни. В России и за рубежом активно разрабатываются планы исследования и последующего освоения небесных тел Солнечной системы путем создания развитой инфраструктуры.

Актуальность проблемы

Составными частями инфраструктуры должны стать защищенные жилые помещения, сооружения технологического, энергетического и складского назначения. Вместе с тем не вызывает сомнения необходимость применения в таком строительстве роботизированных технологий композиционных материалов, реализации принципов гибридизации природных и синтетических материалов во избежание избыточных материальных затрат на освоение космоса.

Таким образом, возникает необходимость постановки и решения комплекса взаимосвязанных задач, разработки технических и технологических решений, гарантирующих достижение высокой функциональной и экономической эффективности строительства космических сооружений и развертывания соответствующей инфраструктуры на небесных телах, начиная с Луны.

Цель:

Разработка новых образовательных программ в области космического строительства и архитектуры для опережающей подготовки бакалавров, магистров и инженеров в рамках укрупненных групп специальностей и направлений подготовки 24.03.01, 24.04.01, 24.05.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» и 22.03.01, 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Основные образовательные задачи:

7

1. Разработка образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 24.04.01 «Авиастроение, ракетостроение и космонавтика», включая учебный план, рабочие программы дисциплин, фонды оценочных средств.
2. Подготовка учебных пособий по отдельным разделам программы, отражающим междисциплинарный характер проектных исследований.
3. Подготовка методических указаний по проведению учебного практикума проектных исследований ракетно-космических композитных конструкций.
4. Организация Научно-образовательного центра – полигона «Освоение космоса» для системных научных исследований и разработок, а также учебных занятий в области разворачиваемых напланетных сооружений с применением «умных» гибридных композиционных материалов, выполненных по роботизированным аддитивным технологиям.
5. Подготовка и переподготовка специалистов по междисциплинарному проектированию ракетно-космических композитных конструкций в соответствии с согласованным планом

Орбитальные сооружения

Орбитальные конструкции с надувными оболочками

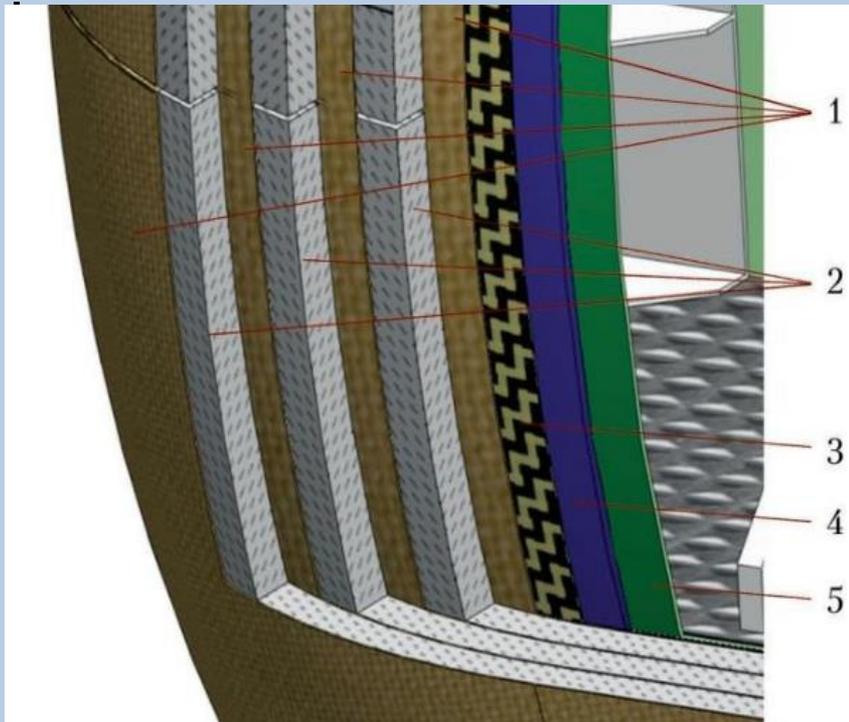
Уже на ранней стадии пилотируемых космических полетов начали разрабатываться варианты создания космических конструкций большого объема с надувными оболочками из прорезиненных тканей.



В 1961 г. NASA предложило фирме Goodyear разработать проект орбитальной космической станции с надувной торовой оболочкой из прорезиненной ткани, рассчитанной на двух человек.

Орбитальные конструкции с надувными оболочками

Для повышения стойкости надувных оболочек к действию факторов космического пространства их выполняют многослойными, объединяя разнородные материалы в гибридную конструкцию. Её развертывание из транспортного положения может проводиться с использованием упругих элементов, обладающих памятью формы.



Состав оболочки трансформируемого модуля:
1 – микрометеороидные экраны;
2 – межэкранные разделители;
3 – армирующие слои;
4 – герметизирующие слои;
5 – интерьерные слои

Орбитальные конструкции с надувными оболочками

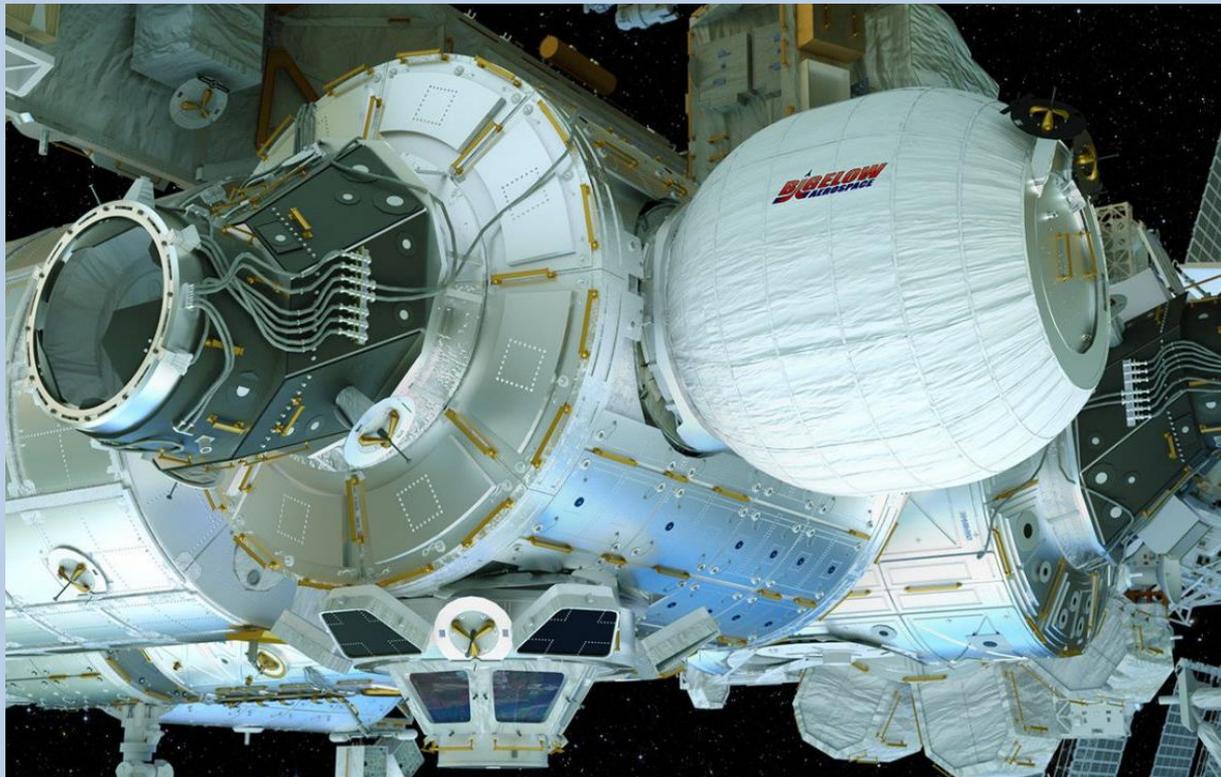
Компания Bigelow Aerospace разработала космические модули “Genesis” с надувными оболочками. Материалы отдельных слоев (металлизованные полимерные пленки, пенополиуретановые прокладки, прорезиненные ткани) должны обеспечить заданный тепловой режим, баллистическую защиту и герметичность внутреннего объема.



Космический модуль компании Bigelow Aerospace

Орбитальные конструкции с надувными оболочками

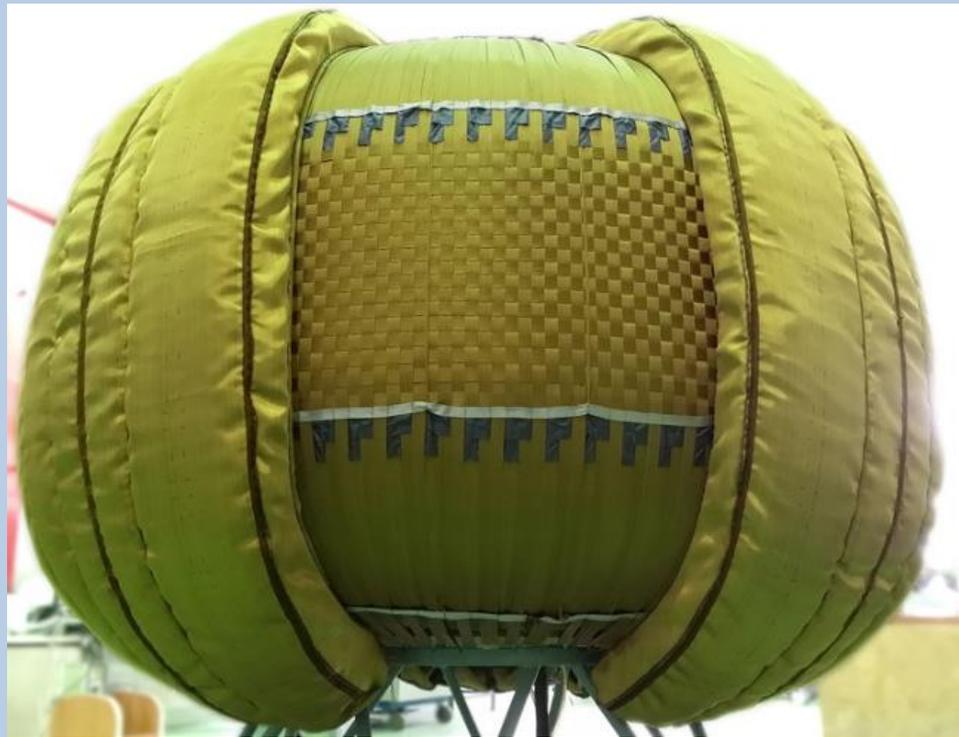
В 2016 году в рамках миссии “SpaceX CRS-8” на орбиту Земли с помощью космического корабля Dragon был выведен экспериментальный развёртываемый модуль Bigelow Expandable Activity Module (BEAM) .



Экспериментальный развёртываемый жилой модуль BEAM

Орбитальные конструкции с надувными оболочками

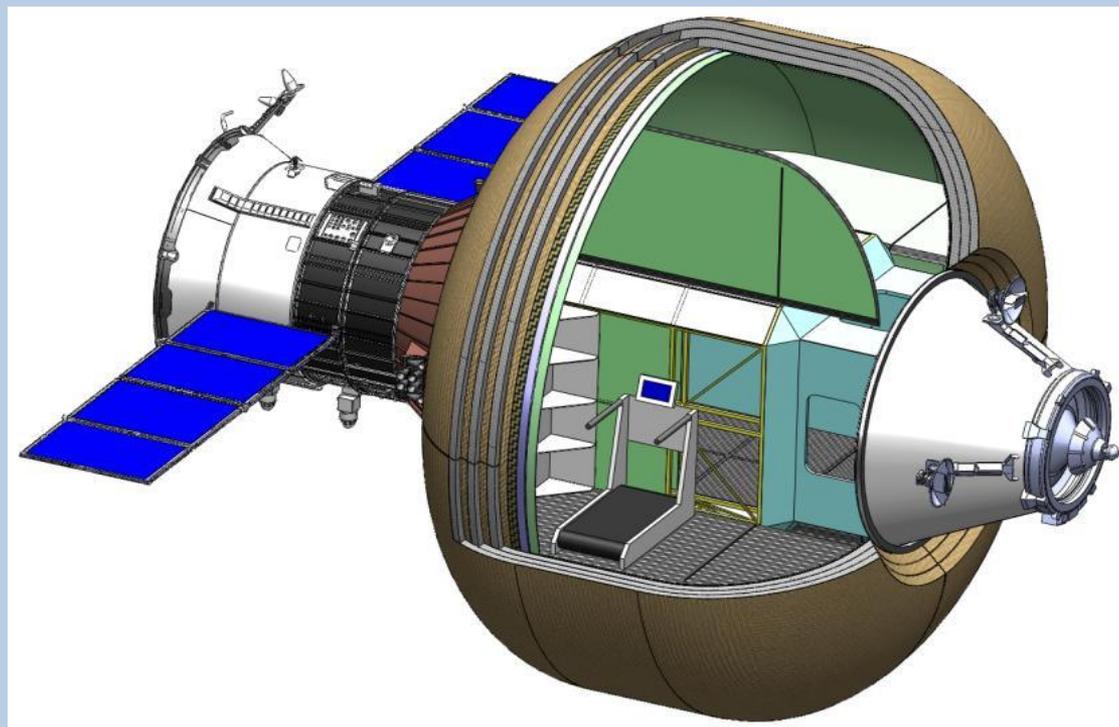
ПАО «РКК «Энергия» им. С. П. Королева» ведет работы по экспериментальному космическому модулю. Стойкость его многослойной оболочки к ударам метеороидов или элементов космического мусора исследована при наземных испытаниях.



Макет космического модуля ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева»

Орбитальные конструкции с надувными оболочками

Экспериментальный космический модуль ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева» имеет внутренний объем 100 м³ и включает элементы корабля «Прогресс». Может использоваться в качестве спортивного зала или склада на орбитальной станции.



Модель космического модуля ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева»

Напланетные сооружения

Критические задачи:

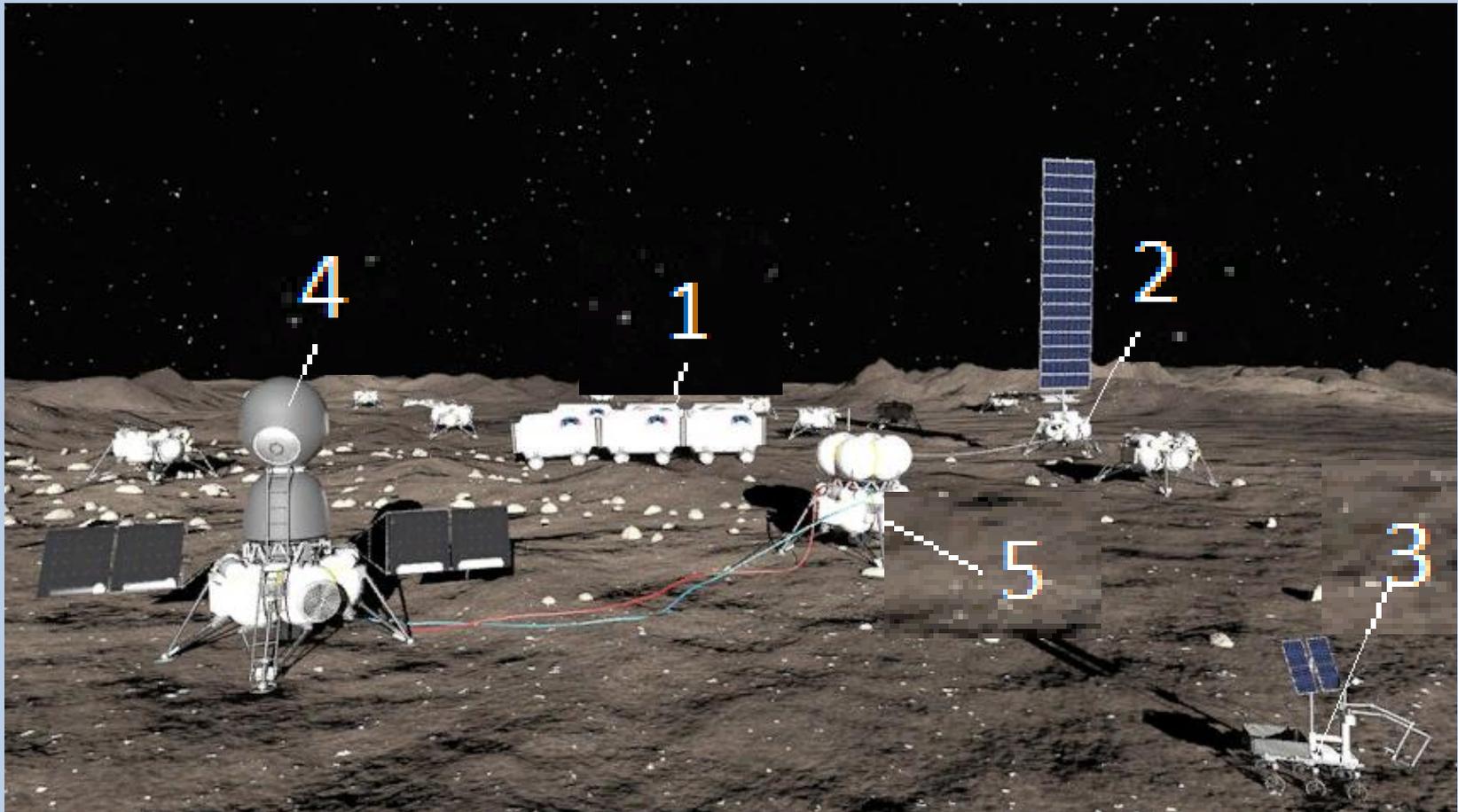
- выбор параметров орбиты или места размещения на поверхности небесного тела;
- разработка рациональных вариантов модульной инфраструктуры с трансформируемыми конструкциями большого объема;
- разработка конструкций унифицированных модулей различного назначения с использованием конструкций, доставляемых с Земли и производимых на месте;
- обоснование объемов доставки материалов, конструкций и оборудования с Земли для космического строительства;
- максимальная автоматизация технологических процессов изготовления и монтажа модулей с минимальным участием человека;
- организация роботизированного аддитивного производства строительных конструкций из гибридных композиционных материалов с использованием природных ресурсов.

Новые научные подходы:

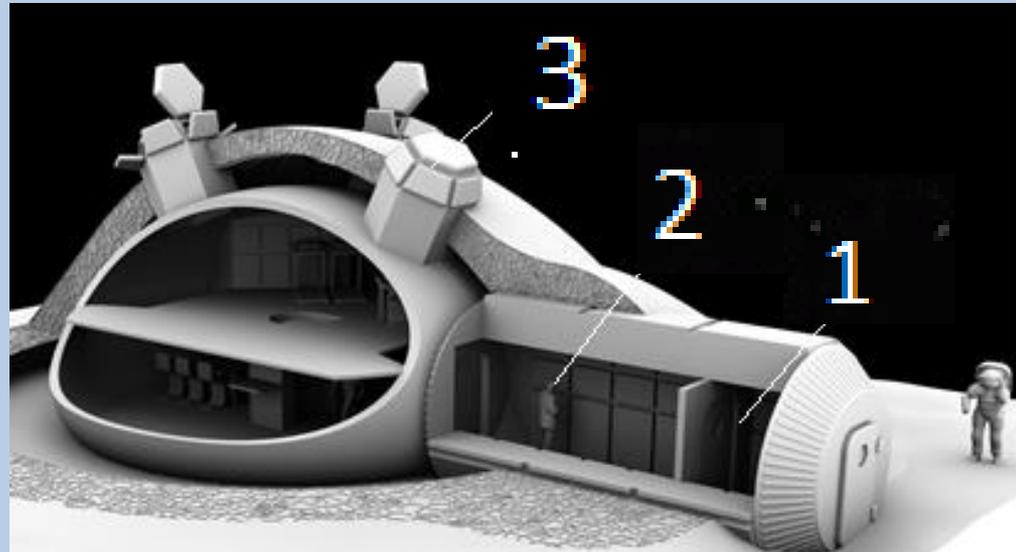
1. Разработка математических моделей мультифизического процесса изготовления элементов напланетных сооружений из материала на основе термопластичного связующего, наполненного реголитом.
2. Разработка математических моделей мультифизического процесса спекания частиц лунного грунта с учетом их плавления, течения расплава, затвердевания, комбинированного переноса тепла и возникновения остаточных напряжений и деформаций.
3. Многомасштабное моделирование физических процессов, протекающих в интеллектуальных гибридных композиционных материалах на четырех уровнях: наноуровень (моделирование теплопереноса в аэрогелях и системах отдельных наночастиц), микроуровень (представительные элементы объема), мезоуровень (отдельные слои композита и образцы), макроуровень (элементы конструкций).

Новые научные подходы:

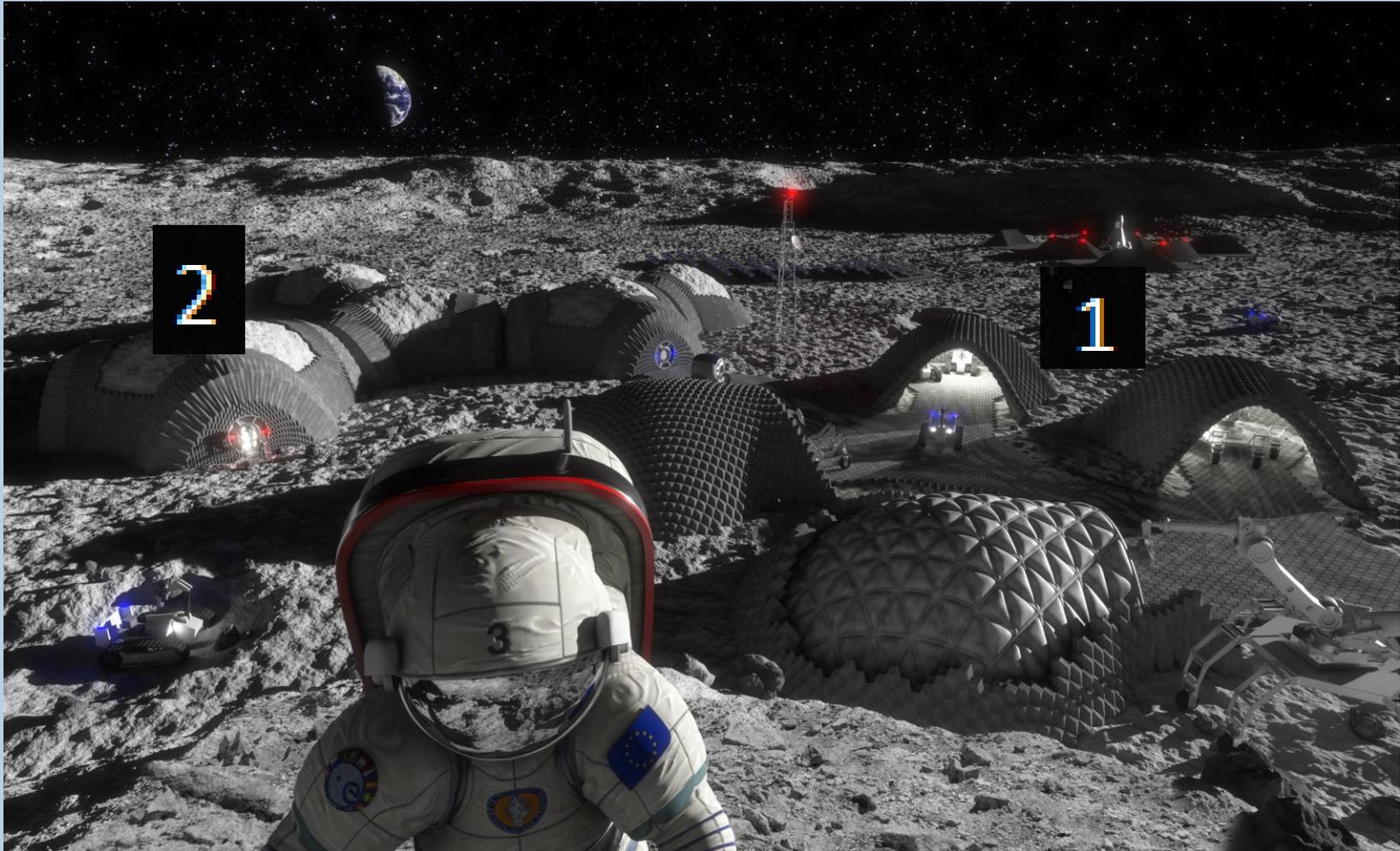
4. Разработка эффективных алгоритмов решения задач комбинированного теплообмена в пористых материалах для прогнозирования характеристик перспективных интеллектуальных гибридных композиционных материалов (анализ предельных возможностей).
5. Постановка и решение обратных задач комбинированного теплообмена, направленных на идентификацию характеристик интеллектуальных гибридных композиционных материалов по результатам экспериментальных исследований и определение отдельных, сложно измеряемых параметров материалов (площади зон контакта, характеристики переходных зон и т.д.).
6. Создание баз данных по теплофизическим, физико-механическим и оптическим характеристикам интеллектуальных гибридных композиционных материалов и их компонент, с учетом параметров технологии изготовления и условий эксплуатации.



Общий вид лунной базы: 1 – жилые, служебные и научные модули;
2 – модуль энергоснабжения; 3 – автоматический луноход;
4 – пилотируемый космический корабль; 5 – корабль-заправщик



Общий вид лунной базы (слева) и жилой модуль (справа):
1 – шлюзовой отсек; 2 – технический отсек; 3 – иллюминаторы



Общий вид лунной базы:

1 – купольные укрытия; 2 – герметичный жилой модуль

Активность университетов в области космического строительства и архитектуры

В Инженерном колледже Каллена в Хьюстонском университете, (Cullen College of Engineering, University of Houston), штат Техас, США с 1987 года действует программа магистратуры в сфере космической архитектуры (MS-Space Architecture) в Международном центре космической архитектуры Сасакавы (Sasakawa International Center for Space Architecture – SICSA). Преподаватели и студенты имеют доступ в Космический центр имени Линдона Джонсона, местные аэрокосмические компании, крупным исследовательским институтам и коммерческим технологическим предприятиям.

Принимаются студенты, имеющие степень бакалавра в сфере технических наук, архитектуры, промышленного дизайна, наук о человеке. Стоимость обучения на очном отделении для граждан США составляет 10.000 – 12.000 долларов, а для иностранцев – 21.000-23.000 долларов.

Объем программы – 30 з.е. Продолжительность обучения – 3 семестра (очное обучение) и 5 семестров (очно-заочное обучение).

Дисциплина	Содержание
Комплекс «Человек-машина» (Man Systems Integration)	Теория, требования и технические решения в области конструкций и систем, функционирующих в экстремальных условиях.
Технологии космических систем (Space Systems Technology Studio)	Конкретные космические программы. Проектирование пилотируемых систем. Космические конструкции. Исследование Луны и других небесных тел.
Проектирование космических кораблей и жилых модулей (Spacescraft and Habitat Design)	Требования к обитаемым конструкциям. Концептуальные идеи по выживанию человека в экстремальных условиях.
Анализ и планирование космических полетов (Mission Planning and Analysis)	Цели и задачи космических полетов на примере конкретных проектов.
Самостоятельное исследование проблемы	Исследования, проводимые студентом в каждом семестре, становятся частью магистерской диссертации.

Итогом обучения становится диссертация, направленная на приращение знаний в сфере космической архитектуры, или конструкторский проект. Примеры проектов можно увидеть на сайте программы <https://sicsa.egr.uh.edu/projects>

Директор программы – профессор **Ольга Баннова**, по первому образованию архитектор, автор книг по космической архитектуре. Адрес веб-сайта: <https://sicsa.egr.uh.edu/welcome/ms-space-architecture-curriculum>

Частный университет – Космический институт Кеплера (Kepler Space Institute), основанный в 2002 г., штат Флорида, США предлагает магистерскую программу по космической архитектуре, другие магистерские программы и программы дополнительного профессионального образования по узким аспектам космонавтики (космическая медицина, сельское хозяйство, ресурсы и др.).

- Для поступления необходимо иметь степень бакалавра. Продолжительность обучения занимает 3 семестра. Общая стоимость обучения по магистерской программе 24.150 долларов. Программа обучения оценивается в 36 з.е. и включает следующие дисциплины:

- Обучение проходит дистанционно. В рамках виртуальных центров космических исследований осуществляется международное и междисциплинарное взаимодействие ученых, студентов и специалистов.

Дисциплина	Содержание
Основы космических систем (Space Systems Fundamentals)	Системное проектирование космических объектов. Критерии и задачи космических полетов. Конструктивные факторы. Инфраструктура космической миссии.
Проектирование космических кораблей и обитаемых модулей (Spacescraft and Habitat Design)	Междисциплинарные проблемы проектирования космических систем различных типов и назначений. Параллельное проектирование. Методы оптимизации. Стандарты и нормативные требования.
Анализ космических полетов (Advanced Mission Analytics).	Движение небесных тел и искусственных космических объектов. Межорбитальный переход и траектории межпланетных полетов. Концепции инфраструктуры для межпланетной, напланетной и подповерхностной эксплуатации при колонизации объектов Солнечной системы.
Магистерская диссертация	Самостоятельный теоретический и/или экспериментальный проект.

В числе изучаемых тем:

- Наука о космосе, условия космического полета, искусственные спутники, двигательные установки, космические системы связи, системы сбора и обработки данных, контрольно-измерительная аппаратура.
- Оптимизация конструкций и производственных показателей, экономические и юридические аспекты космических полетов и колоний, критерии и методы испытаний, критический анализ конструкторских решений.
- Инструменты численного анализа и динамического моделирования, анализа данных.

Деканом Департамента космонавтики и космических технологий является **Амина Омарова**, получившая степень магистра по аэрокосмическим технологиям в МГТУ им. Н.Э. Баумана, степень магистра и степень Ph.D. по управлению проектами в университете Аделаиды, Австралия. Адрес веб-сайта: <https://keplerspaceinstitute.com/space-architecture/>

В Колорадском горном училище (Colorado School of Mines), штат Колорадо, США имеется магистерская программа и программа дополнительного профессионального образования «Космические ресурсы» (Space Resources). Занятия в магистратуре проводятся дистанционно; возможно получение степени PhD без защиты диссертации.

Школа располагает лабораторией космических ресурсов, в которой установлены вакуумные камеры, имитирующее давление и температуру на Луне, Марсе и астероидах; лабораторией планетарной робототехники; лабораторией передовых материалов и др.

Адрес вебсайта: <http://spaceresources.mines.edu/index.htm>

веб-сайта: <https://keplerspaceinstitute.com/space-architecture/>

В 2018 году в Московском архитектурном институте (государственной академии) на базе кафедры «Архитектура промышленных сооружений» была организована кафедра «Архитектура экстремальных сред» для выполнения квалификационных научно-проектных работ магистров. Предусмотрено расширение её деятельности и для студентов 3 - 5 курсов, а также для работ в рамках международного и межвузовского сотрудничества (обмен студентов, стажировки, конкурсы).

К освоению программ магистратуры МАРХИ допускаются лица, имеющие высшее образование любого уровня (диплом бакалавра, специалиста, магистра). Формы обучения: очное, вечернее (очно-заочное); бюджетное и платное.

Заведующий кафедрой – профессор Сергей Абрекович Галеев.

Адрес вебсайта: <https://marhi.ru/kafedra/project/extreme/>

Научно-проектные работы подразделяются на два тематических блока. Типологический блок включает темы жилой, общественной, промышленной *архитектуры* в экстремальной внешней среде. Планировочный блок включает темы систем расселения, *планировки* городов и поселений, комплексов и отдельных сооружений в экстремальной внешней среде.

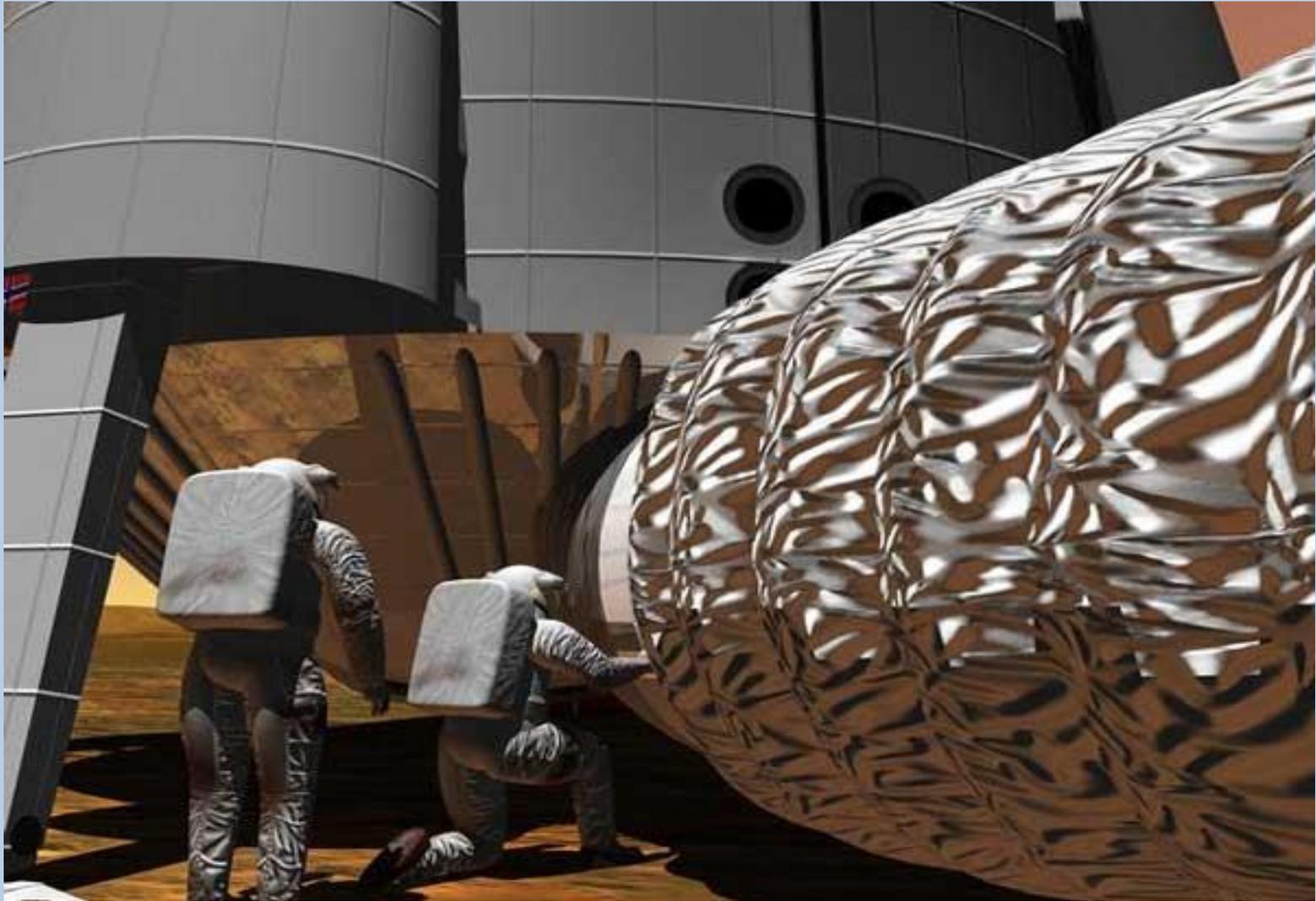
К ключевым темам студенческих работ отнесены:

- Принципы адаптации архитектурных объектов к экстремальным условиям среды.
- Искусственная среда обитания (архитектурный аспект) в экстремальных условиях (международное сотрудничество).
- Принципы экстремальной архитектуры;
- Объекты энерго- и водо- обеспечения районов с экстремальными условиями среды.
- Архитектурный аспект освоения Луны (в сотрудничестве с НПО им. С.А. Лавочкина) и других планет Солнечной системы.

Следует отметить, что в ряде зарубежных и отечественных университетов поставлены учебные курсы, тесно связанные с проблематикой космического строительства и архитектуры.

Примером могут служить:

- Массачусетский технологический институт (Massachusetts Institute of Technology).
- Университет Висконсина (University of Wisconsin).
- Институт архитектуры и дизайна Венского технического университета (Institute for Architecture and Design, Vienna University of Technology, Vienna, Austria).
- Технический колледж Университета Абу Даби в ОАЭ (College of Engineering, Abu Dhabi University, United Arab Emirates) и др.



Проект студентов Массачусетского технологического института



Проект студентов Университета Висконсина

В МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» ведется разработка магистерской программы «Композиционные материалы с интеллектуальными свойствами для космического строительства и архитектуры» (программа «Приоритет-2030») в рамках направлений подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика» и 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

В середине 1990-х годов МГТУ им. Н.Э. Баумана и МАРХИ сотрудничали в организации совместных студенческих проектов в области космического строительства. Заметный вклад в организацию работ внесли профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана В.И. Усюкин, В.Н. Елисеев и профессора МАРХИ Г.М. Агранович, О.В. Кулиш, О.Р. Мамлеев. Планируется расширить это сотрудничество и действовать совместно с Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», АО «НПО им. С.А. Лавочкина» и АО «Композит».

Дисциплина	Содержание
Основы космической техники	Цели и задачи освоения космического пространства. Национальные космические программы. Междисциплинарные особенности создания космических систем. Системное проектирование космических объектов. Технические средства доступа в околоземный космос.
Строительство в космосе	Концепции космической инфраструктуры с орбитальными или напланетными сооружениями. Модульный принцип строительства. Трансформируемые конструкции большого объема. Развертывание крупногабаритных конструкций из транспортной конфигурации. Роботизированные аддитивные технологии производства конструкций с использованием природного сырья.
Архитектура космических сооружений	Психофизические факторы и условия комфорта в космических экспедициях. Параллельное проектирование архитектурных и функциональных форм космических сооружений.

Дисциплина	Содержание
Природные ресурсы небесных тел Солнечной системы	Солнечная система. Общая характеристика планет и их спутников. Уровень солнечного излучения. Состав и параметры атмосфер планет и спутников. Запасы воды. Минеральный состав небесных тел. Лунный и марсианский грунт. Магнитные поля и радиационные пояса. Астероиды и кометы.
Механика космического полета	Движение небесных тел и искусственных космических объектов. Межорбитальные переходы с двигателями большой и малой тяги. Траектории межпланетных полетов. Пертурбационный маневр.
Интеллектуальные материалы	Виды интеллектуальных материалов. Особенности составов и микроструктуры. Реакционная активность компонентов на внешние воздействия различной физической природы. Технологии изготовления интеллектуальных материалов.
Выпускная квалификационная работа магистра	Совокупность обзорно-аналитического исследования, расчетно-теоретической и экспериментальной (технологической части).

1. Анализ современного состояния проблем освоения космоса свидетельствует о наличии научных заделов для достижения эффективных научно-технических, технологических и экономических решений в строительстве орбитальных и напланетных сооружений различного назначения.
2. Ключевое значение для предстоящего освоения небесных тел Солнечной системы может иметь строительство орбитальных и напланетных сооружений модульного типа с применением роботизированных аддитивных технологий производства «умных» гибридных композиционных материалов, использования ресурсов небесных тел, солнечной энергии, новых физических принципов и инструментов моделирования.
3. Для опережающей подготовки проектантов, конструкторов и технологов в области космического строительства и архитектуры целесообразно приступить к разработке и реализации новых образовательных программ специалитета и магистратуры в передовых технических университетах.

Настоящий доклад подготовлен 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.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ