

Передовые инженерные школы: Устойчивость и результативность работы временных студенческих научных объединений

Резник С.В., д.т.н., профессор,
Заведующий кафедрой СМ-13
«Ракетно-космические композитные
конструкции»



План презентации

- **Актуальность проблемы**
- **Новая реформа высшего образования: целеполагание и кадровая политика**
- **Особенности организации ПИШ**
- **Исторический опыт инициативных студенческих проектов**
- **Командные проекты в рамках ПИШ: текущие задачи**
- **Пример организации командного проекта**
- **Заключение**

Актуальность проблемы

[Постановлением Правительства РФ от 08.04.2022 N 619](#) был объявлен конкурс «Передовые инженерные школы», направленный на подготовку квалифицированных инженерных кадров для высокотехнологичных отраслей экономики.

Федеральный проект «Передовые инженерные школы», разработан по инициативе Министерства науки и высшего образования РФ. Он является одной из 42-х инициатив Правительства РФ, направленных на повышение качества жизни граждан и будет выполняться в рамках государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

Новая реформа высшего образования: целеполагание и кадровая политика

С учетом складывающейся международной обстановки необходимо уточнить цели подготовки специалистов и пути реализации намеченных ориентиров наиболее экономичными средствами с учетом располагаемых ресурсов.

Цели программы «Передовые инженерные школы»: «...обеспечить высокопроизводительные экспортно-ориентированные секторы экономики страны квалифицированными кадрами». Западные санкции резко сузили возможности российского экспорта нефти, газа, удобрений и металлов. Но это сырье, а что из высокопроизводительного оборудования в гражданском секторе экономики может предложить наша страна?

В качестве одного из главных ориентиров при выборе целеполагания в новой системе высшего образования выделить **достижение технологического суверенитета за счет приобретения выпускниками компетенций в инициативной творческой работе, повышение престижа инженеров, материального стимулирования их активности.**

ПИШ имеет статус структурного подразделения вуза. Руководящий орган – дирекция.

Замысел ПИШ – обучение в рамках выполнения командных научных проектов по тематике ГК «Роскосмос», ЕК «Росатом», ОАК и др..

Основополагающий стиль – системное проектирование, междисциплинарные исследования и разработки.

Тематика работ определяется базовыми кафедрами по согласованию с индустриальными партнерами.

Участники проекта – студенты двухлетней магистратуры, все имеют базовое инженерное образование (бакалавриат или специалитет, близкие к профилю обучения в магистратуре).

Практически все студенты уже трудоустроены вне Университета.

Приветствуется разумная инициатива и самоуправление студентов.

Вопросы:

Каковы рациональные формы организации работы ПИШ, гарантирующие результативность и устойчивость работы? Место дирекции ПИШ, кафедр, НОЦ?

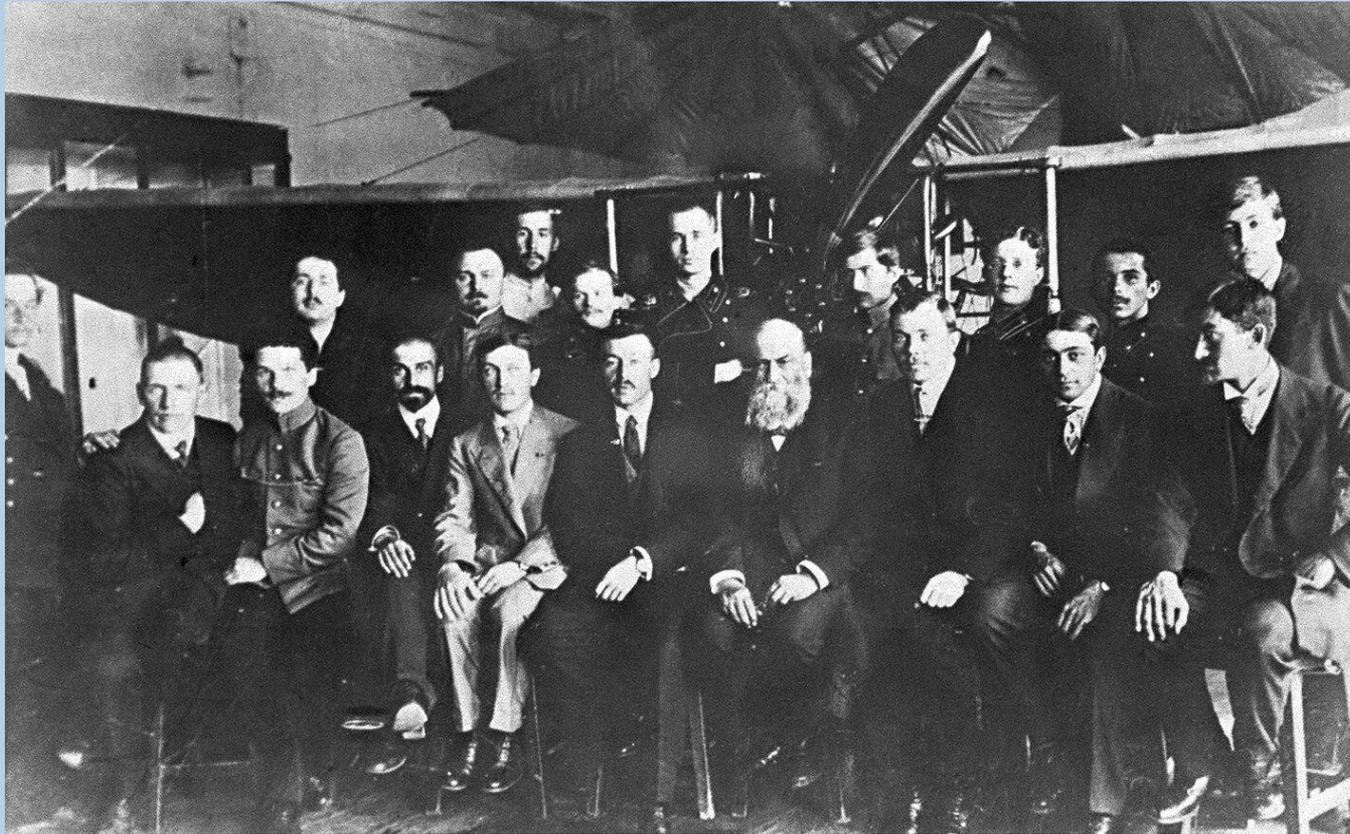
Что можно и нужно заимствовать из имеющего опыта научной работы студентов?

Какова роль индустриальных партнеров в организации работы ПИШ?

Что необходимо сделать для развития студенческой творческой инициативы?

Исторический опыт инициативных студенческих проектов

История нашей страны содержит множество примеров успешной творческой технической инициативы. Успех сопутствовал тем, кто сумел соединить энтузиазм и высокую работоспособность молодежи с опытом и высокой квалификацией наставников.



Воздухоплавательный кружок профессора Н.Е. Жуковского, организованный в 1909 году в ИМТУ, стал кузницей выдающихся создателей отечественной авиации

Исторический опыт инициативных студенческих проектов

Название проекта, краткое содержание	Годы выполнения	Научное / Техническое руководство	Количество участников / кафедр
«ЗУР» Эскизный проект зенитной управляемой ракеты	1957-1958 г.г.	Феодосьев В.И. / Воротников В.И., Добряков А.А., Зарубин В.С., Семенов А.Н.	10 / 1
«Селена» Эскизный проект лунохода	1966-1968 г.г.	Синярев Г.Б., Чижов В.Ф., Бор-Раменский А.Е., Дядюнов Н.Г., Забавников Н.А. и др. / Морев В.А.	Больше 200 / 18
«Арес» Систематизация и обобщение данных по конструкции ракет семейства “Saturn”	1967-1969 г.г.	Разумеев В.Ф. / Максимов Ф.Ф.	10 / 1
«Простор» Подготовка технических предложений по исследованию планет гигантов с помощью автоматических и пилотируемых космических аппаратов	1968-1971 г.г.	Феоктистов К.П., Елисеев В.Н. Дядюнов Н.Г., Ивашкин А.Б., Лысенко Л.Н. Шумилов И.М., Яминский В.В. и др. / Заварин О.В., Попов Г.Н., Резник С.В., Реут Д.В., Товстоног В.А.	Около 50 /12 +кафедра астрономии Киевского университета, проф. Всехсвятский С. К.

Исторический опыт инициативных студенческих проектов

Название проекта, краткое содержание	Годы выполнения	Научное / Техническое руководство	Количество участников/кафедр
«САСКОС» Эскизный проект системы аварийного спасения космонавтов с орбитальной станции	1974-1975 г.г.	Миненко В.Е. / Белоногов Е.К., Зацепин А.Ю.	10 / 1
«Альбатрос» Эскизный проект двухступенчатой воздушно-космической системы горизонтального взлета с водной поверхности	1966-1968 г.г.	Синярев Г.Б., Чижов В.Ф. / Белоногов Е.К., Косовцев В.И.	10 / 1
«Сивка» Эскизные проекты семейства одноступенчатых крылатых носителей орбитального и суборбитального класса	1999-2003 г.г.	Феоктистов К.П., Резник С.В. / Шуляковский А.В.	10 / 2
«Одуванчик» Эскизные проекты семейства многоразовых космических аппаратов туристического класса	2007- н/в	Резник С.В., Просунцов П.В. / Шуляковский А.В., Ашихмина (Федюнина) Е.Р.	Более 20 / 2

Проектант и пионер пилотируемой космонавтики 10

Константин Петрович Феоктистов – участник Великой Отечественной войны, в 1949 г. закончил МВТУ им. Н.Э. Баумана. Работал в СКБ-385, НИИ-4, ОКБ-1-ЦКБЭМ-НПО «Энергия». Руководил проектированием всех советских пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций. Предложил компоновку космического корабля ЗКА «Восток». Спускаемый аппарат сферической формы имел минимальную поверхность при данном объеме, а больший радиус притупления способствовал снижению тепловых нагрузок и уменьшению веса ТЗП. В 1964 г. совершил полет в космос на трехместном корабле «Восход». Первый в мире ученый-космонавт, Герой Советского Союза, Лауреат Ленинской и Государственной премии.

Научный руководитель студенческих проектов «Простор», «Сивка», возглавлял жюри 1-й международной студенческой олимпиады по ракетно-космической технике в Москве в 1992 году.



К.П. Феоктистов (1926-2009):

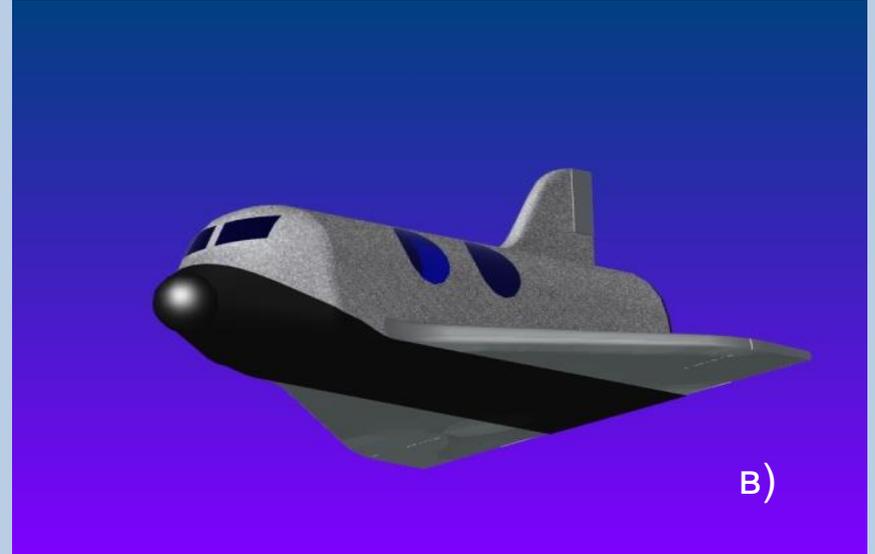
- а) – бортинженер, член экипажа космического корабля «Восход-1»;
- б) – д.т.н., профессор кафедры М-1/СМ-1 МГТУ им. Н.Э. Баумана

Многообразные транспортные космические системы

13



Проект одноступенчатого тяжелого многоцелевого носителя семейства «Сивка», разработанного студентами кафедр СМ-1 и СМ-13 МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством К.П. Феоктистова



Проекты легкого многоразового космического аппарата «Одуванчик», разработанные студентами кафедр СМ-1 и СМ-13 МГТУ им. Н.Э. Баумана:
а), б) – суборбитальный вариант;
в) – орбитальный вариант

Университеты – участники «Передовой инженерной школы» получают финансовую поддержку из госбюджета по линии Минобрнауки и от предприятий, заинтересованных в подготовке высококвалифицированных технических специалистов.

Куратором МГТУ им. Н.Э. Баумана по линии ПИШ является ГК «Роскосмос».

Тематические направления включают разработку силами кафедр научных и образовательных проектов, согласованных с ГК «Роскосмос». Работы координирует дирекция программы. Участникам проекта выделяют средства для приобретения нового технологического и испытательного оборудования, расходных материалов. Ректорат предоставил в новом здании помещения для исследовательских лабораторий площадью 1800 м²; здание сдано в 2024 году.

В настоящее время в рамках ПИШ большое внимание уделяется системному проектированию, развиваются **инициативные междисциплинарные командные студенческие проекты.**

Командные проекты в рамках ПИШ: текущие задачи 14

Как показывает исторический опыт ключевое значение для реализации инициативных студенческих проектов имеет **устойчивость коллектива**.

Для этого **кафедры**:

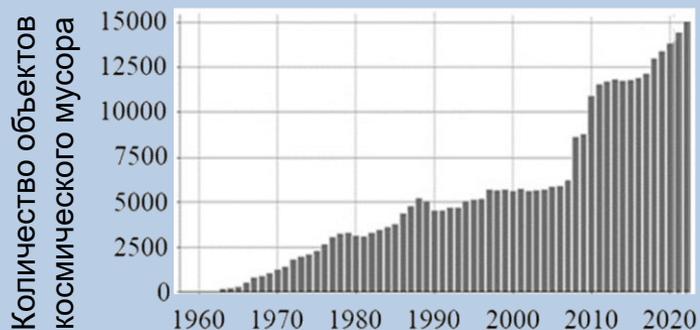
- Тесно увязывают разработку проектов с учебным планом студентов. При необходимости его корректируют в индивидуальном порядке.
- Закрепляют молодых преподавателей, аспирантов и сотрудников в качестве технических руководителей, ведущих оперативное сопровождение работ.
- Отбирают преподавателей-наставников, включают научное руководство проектами в план работы, корректируют нагрузку.

Для этого **ректорат, руководство факультетов и дирекция ПИШ**:

- Обеспечивают стартовое финансирование проектов, выделяют дополнительные помещения, проводят экспертизу проектов.
- Развивают межпредметные связи, организуют рабочие совещания и семинары по обмену лучшими практиками.
- Ведут информационное сопровождение проводимых работ, организуют дополнительные мероприятия по связи с отраслевыми предприятиями.

Пример организации командного проекта

Одной из серьезных проблем современной космонавтики является засорение околоземного пространства объектами отработавшей ракетно-космической техники



Согласно отчётам Европейского космического агентства количество космического мусора растёт ежегодно



Ловушка для мусора ClearSpace-1, Европейское космическое агентство



Двигательная установка D3 Decommission Device, D-Orbit



Надувное тормозное устройство GOLD, Global Aerospace Corporation, USA

Пример организации командного проекта

Организационные вопросы

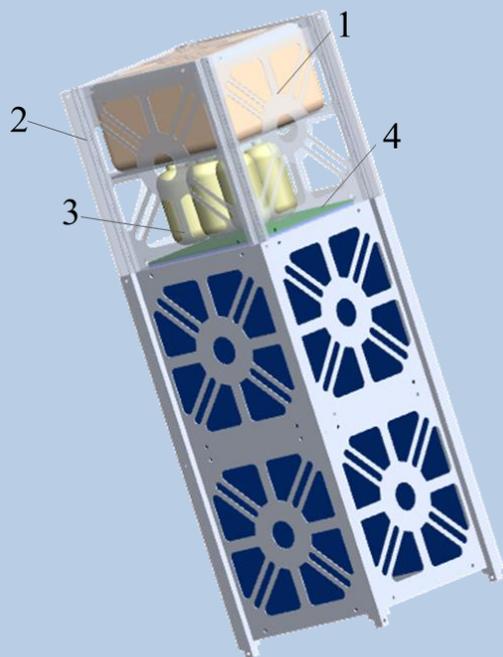
- **Участники проекта** – 10 студентов магистратуры (направлению подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика»).
- **Студенты** самостоятельно распределили участки командной работы, выбрали главного конструктора, главного технолога, экономиста и др.
- **Каждый студент** имеет индивидуальное задание в рамках командного проекта. За каждым студентом закреплен научный руководитель (3 профессора, д.н., 7 доцентов, к.н).
- **Помещения и оборудование** предоставлены кафедрой СМ-13 и дирекцией ПИШ.
- **Организационно-техническое сопровождение проекта** поручено молодому преподавателю.
- **Ожидаемый итог работы** – выпускные квалификационные работы, как часть общего отчета о НИР по созданию макета связки «спутник-НТУ».

Проблемы

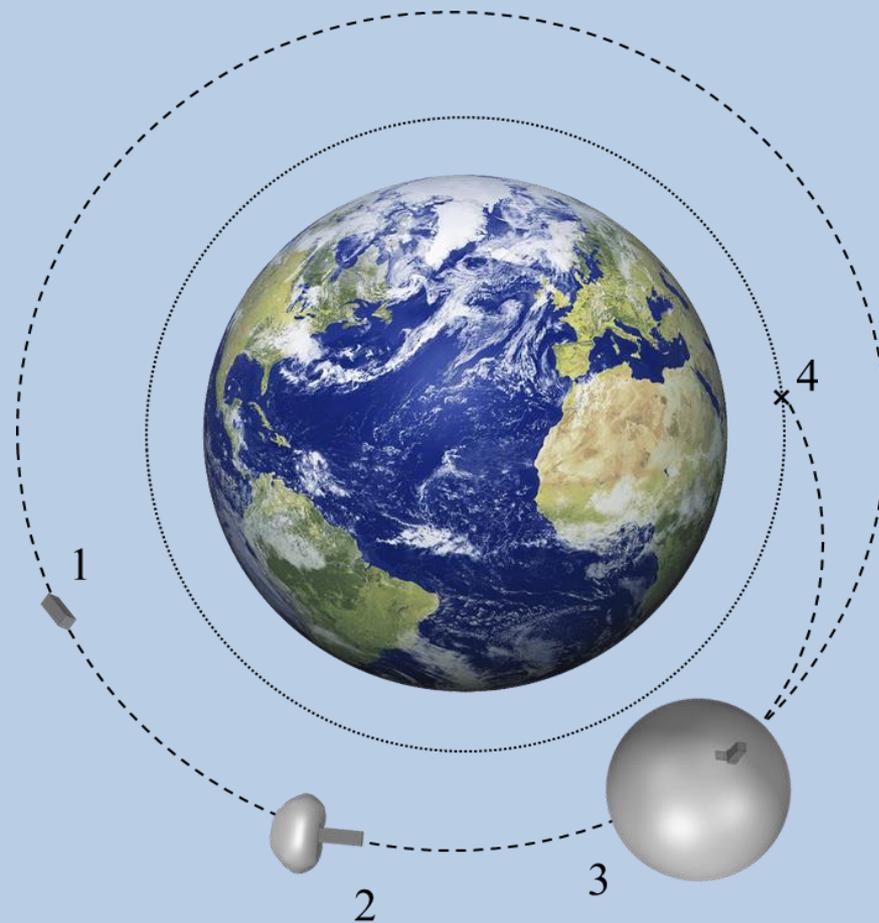
- **Студенты** работают во внеучебное время в профильных организациях.
- **Тематика проекта** предложена кафедрой с перспективой реализации совместно с индустриальными партнерами.
- **Финансирование работ** из госбюджета по линии ПИШ ограничено.
- **Студенты** могут получить разовую премию из фонда ПИШ за успешную работу.

Принцип работы надувного тормозного устройства

CubeSat 2U с НТУ:
 размеры 100x100x300 мм³
 масса – 3,99 кг



- 1 — система наддува;
- 2 — контейнер;
- 3 — сферическая оболочка;
- 4 — система управления



- Последовательность разворачивания оболочки:
- 1 — движение по рабочей орбите;
 - 2 — разворачивание надувной оболочки;
 - 3 — начало торможения;
 - 4 — разрушение в плотных слоях атмосферы

Выбор материала оболочки НТУ

Факторы космического пространства:

- тепловое излучение;
- УФ излучение;
- радиация;
- атомарный кислород;
- микрометеороиды

Требования, предъявляемые к оболочке НТУ:

- небольшая масса;
- компактные размеры;
- прочность;
- термостойкость;
- эффективность

Материал	Плотность, кг/м ³	Диапазон рабочих температур, °С	Прочность на разрыв при комнатной температуре, МПа	Доза излучения, вызывающая ухудшение свойств*, МГр	Объемный коэффициент эрозии, 10 ²⁴ см ³ /атом О
ПЭТФ	1390-1400	От -65 до +155	170	2	3,20
ПИ	1400-1430	От -269 до +300	150-180	100	3,30

*пороговая доза уменьшения в два раза прочности при разрыве

Определение параметров спуска в разреженной атмосфере

Для определения параметров спуска решалась система уравнений движения тела под действием силы тяжести и аэродинамических сил.

$$\frac{dv}{d\tau} = -\sigma_x g_0 \frac{\rho_f v^2}{2} - g \sin \theta;$$

$$\sigma_x = \frac{C_x S_m}{Mg};$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \sigma_x K g_0 \frac{\rho_f v}{2} + \left(\frac{v}{R} - \frac{g}{v} \right) \cos \theta;$$

$$K = \frac{C_y}{C_x};$$

$$\frac{dH}{d\tau} = v \sin \theta;$$

$$\frac{dL}{d\tau} = v \frac{R_E}{R} \cos \theta;$$

$$\tau = 0: v(0) = v_0;$$

$$g_0 = \gamma \frac{M_E}{R_E^2}; \quad g = g_0 \frac{R_E^2}{R^2};$$

$$H(0) = H_0;$$

$$\theta(0) = \theta_0;$$

$$C_x = 2 + \frac{4}{3S} \left(\frac{\pi T_r}{T_\infty} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S^2};$$

$$L(0) = L_0$$

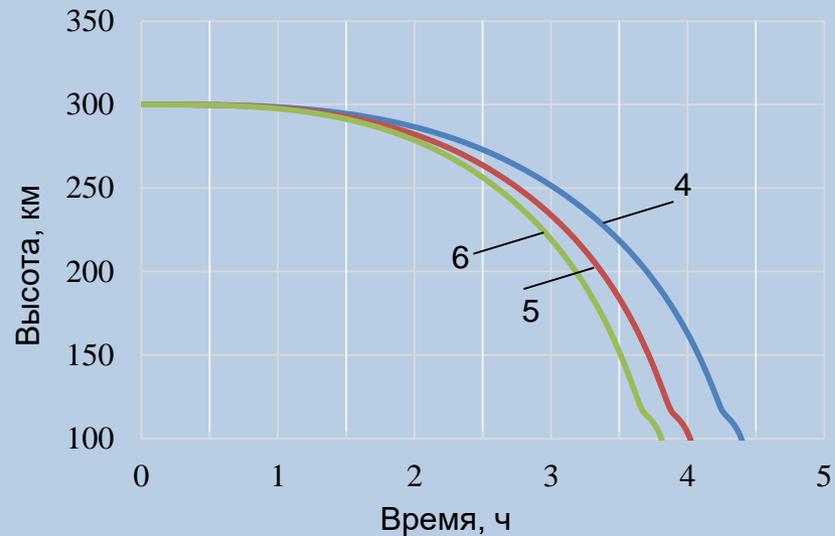
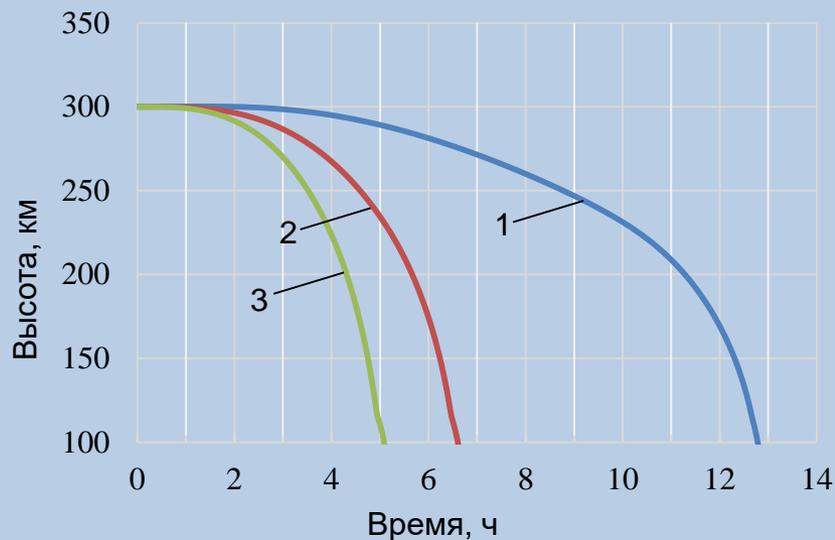
Допущения:

- движение системы «спутник–НТУ» вокруг центра масс не учитывается;
 - размеры спутника малы по сравнению с размерами сферической тонкостенной оболочки НТУ и его возмущающее влияние на оболочку пренебрежимо мало;
 - в силу осесимметричного обтекания сферической оболочки подъемная сила равна нулю ($C_y = 0$);
 - действие солнечного давления на оболочку по сравнению с другими силами в заданном диапазоне высот незначительно;
- в процессе орбитального движения форма оболочки не меняется

где v — скорость; τ — время; σ_x — баллистический параметр; g_0 и g — ускорение силы тяжести на поверхности и высоте H соответственно; ρ_f — плотность атмосферы; θ — угол наклона вектора скорости к местному горизонту; K — аэродинамическое качество; H — расстояние от центра Земли до НТУ, H_0 — радиус Земли; L — дальность полета; γ — гравитационная постоянная; M_E — масса Земли; C_x — коэффициент лобового сопротивления; S_m — площадь миделевого сечения НТУ; M — масса системы спутник-НТУ; T_∞ , T_r — температура газа соответственно в набегающем и отраженном потоках; S — отношение скорости набегающего потока к наиболее вероятной тепловой скорости молекул в потоке.

Определение параметров спуска в разреженной атмосфере

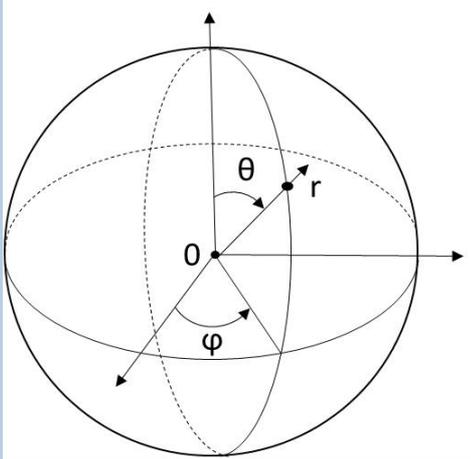
Система уравнений решалась методом Рунге-Кутты с шагом интегрирования 100 с.



Продолжительность спуска спутника CubeSat 2U в плотные слои атмосферы от диаметра оболочки

Определение теплового режима оболочки НТУ

При определении теплового режима НТУ учитывается комбинированный характер внешнего теплового воздействия



Допущения:

- нагрев периодический, ориентация оболочки в пространстве неизменна;
- форма оболочки сферическая, не изменяется в процессе спуска;
- оболочка тонкостенная, перепад по толщине оболочки пренебрежимо мал;
- учитывается переизлучение внутри оболочки;
- оптические и теплофизические характеристики не зависят от температуры;
- отражение молекул от стенки является диффузным;
- процессы рекомбинации молекул газа не учитываются

$$\begin{aligned}
 h c \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = & \frac{h \lambda}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{h \lambda}{r^2 \sin \theta} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \mu_S A_S q_S(\tau, \theta, \varphi) + \mu_L \varepsilon_L (q_E(\tau, \theta, \varphi) + \\
 & + q_{ER}(\tau, \theta, \varphi)) - (1 - A_S) \mu_S \sigma T^4 - \varepsilon_L \mu_L \sigma T^4 + q_C(\tau, \theta, \varphi) - \\
 & - \varepsilon_{inL} \sigma T^4(\varphi, \theta) + \varepsilon_{inL} \sigma \frac{1}{4\pi} \int_0^{4\pi} T^4(\varphi^*, \theta^*) d\varphi^* d\theta^*; \\
 \tau = 0 \quad T = & T_0(\theta, \varphi),
 \end{aligned}$$

где h – толщина оболочки; c – удельная теплоемкость материала оболочки; ρ – плотность материала оболочки; τ – время; r , θ , φ – сферические координаты; T – температура; λ – теплопроводность, μ_S , μ_L – доли внешнего потока излучения в коротковолновом и длинноволновом диапазонах соответственно; A_S – поглощательная способность в коротковолновом спектре; ε_L , ε_{inL} – степень черноты в длинноволновом диапазоне внешней и внутренней поверхности оболочки соответственно; σ – постоянная Стефана-Больцмана; θ^* , φ^* – переменные интегрирования для определения теплового потока за счет переизлучения внутри оболочки

Определение теплового режима оболочки НТУ

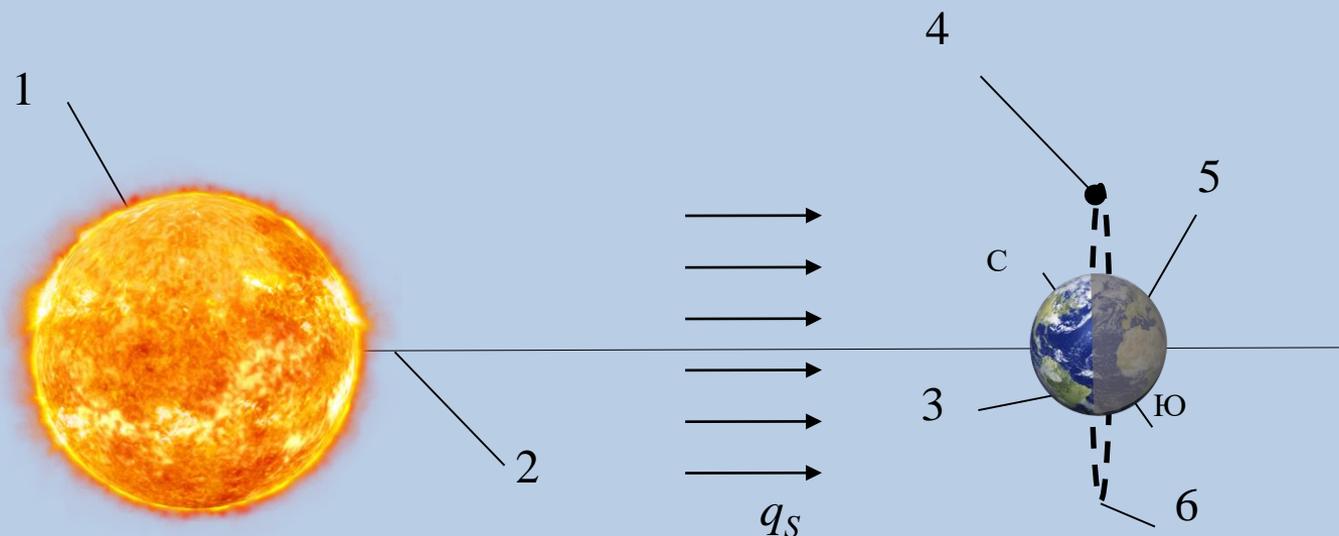
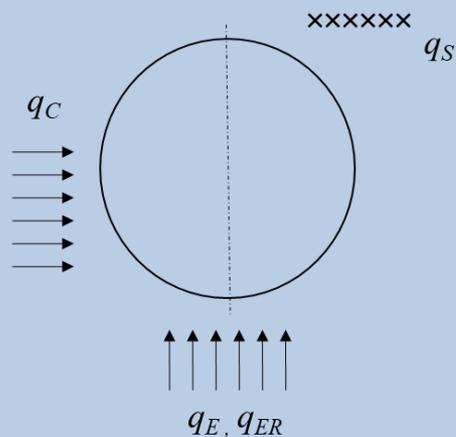
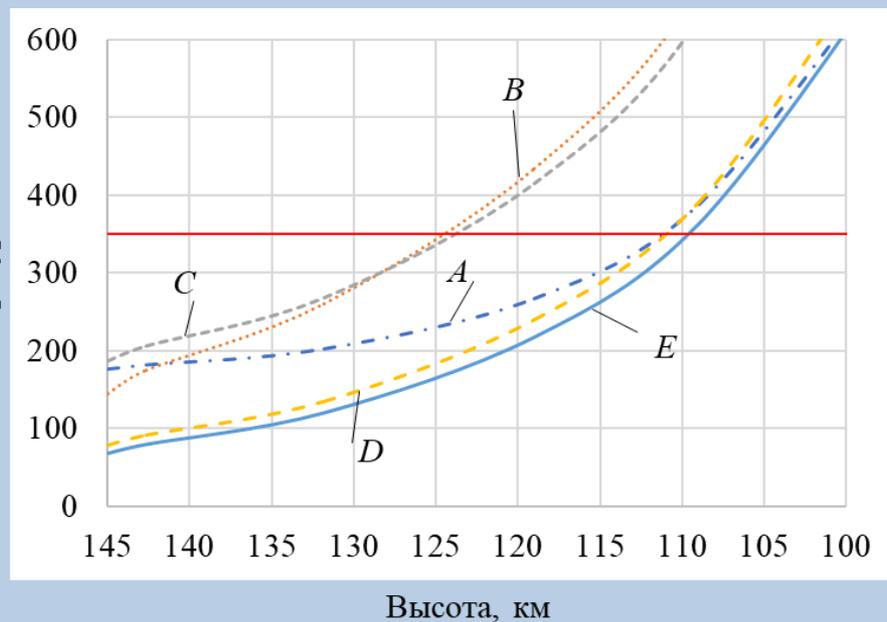
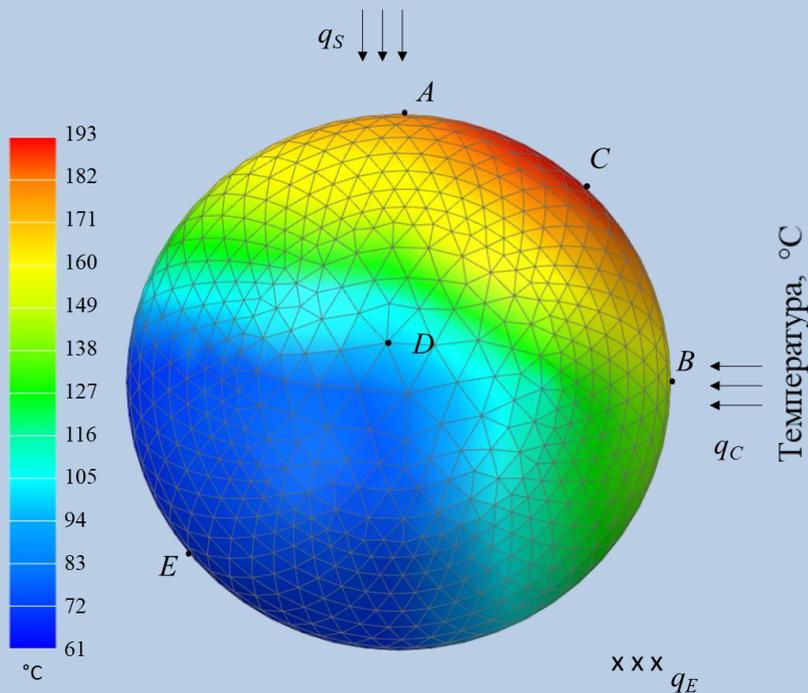


Схема орбитального движения оболочки НТУ: 1 — Солнце; 2 — плоскость эклиптики; 3 — линия терминатора; 4 и 6 — оболочка и орбита НТУ; 5 — Земля; С — север; Ю — юг



Тепловые потоки, подводимые к оболочке:
 q_C — конвективный тепловой поток, возникающий за счет столкновения с молекулами воздуха; q_E — поток собственного излучения Земли; q_{ER} — поток отраженного от Земли солнечного излучения;
 q_S — поток прямого солнечного излучения

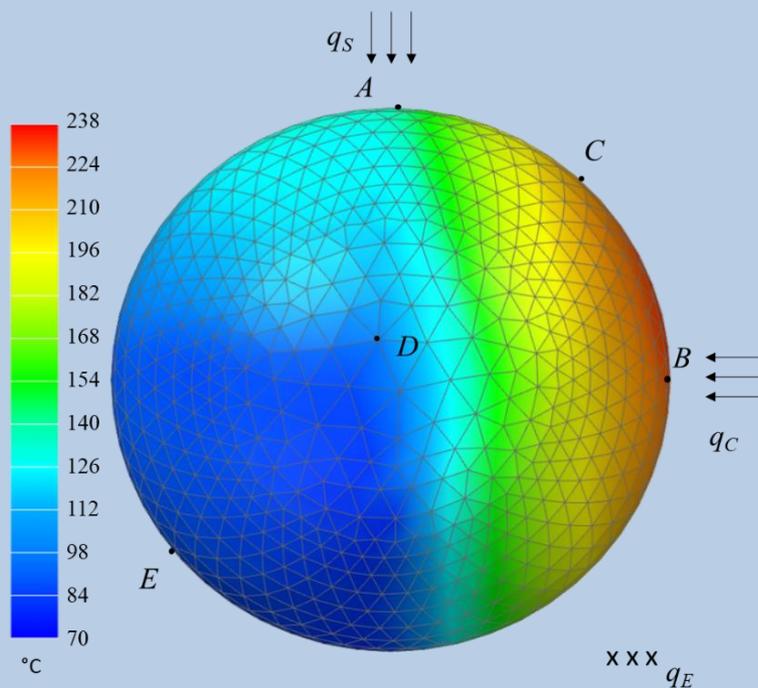
Результаты моделирования теплового режима



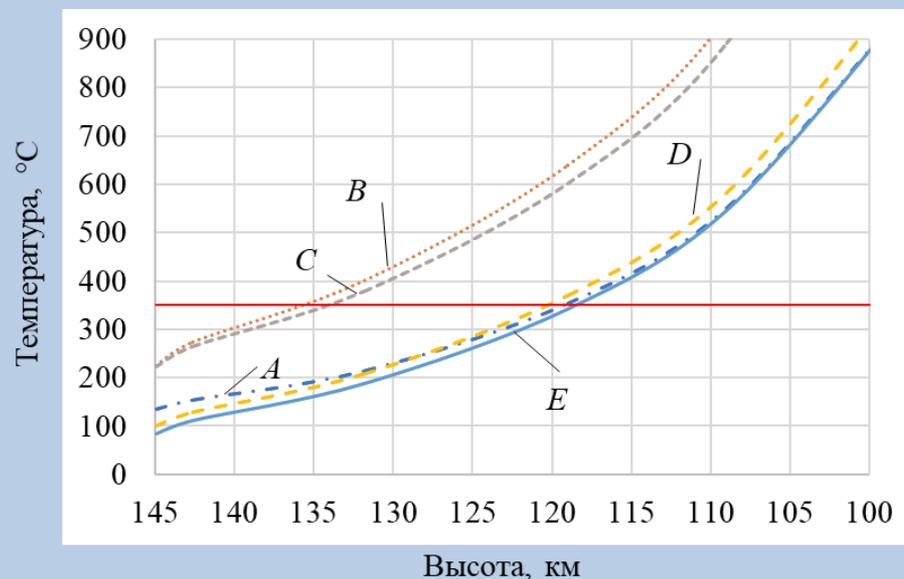
Температурное поле оболочки без покрытия на высоте 144 км

Изменение температуры в характерных точках оболочки без покрытия, красной линией отмечена критическая температура для ПИ пленки

Результаты моделирования теплового режима



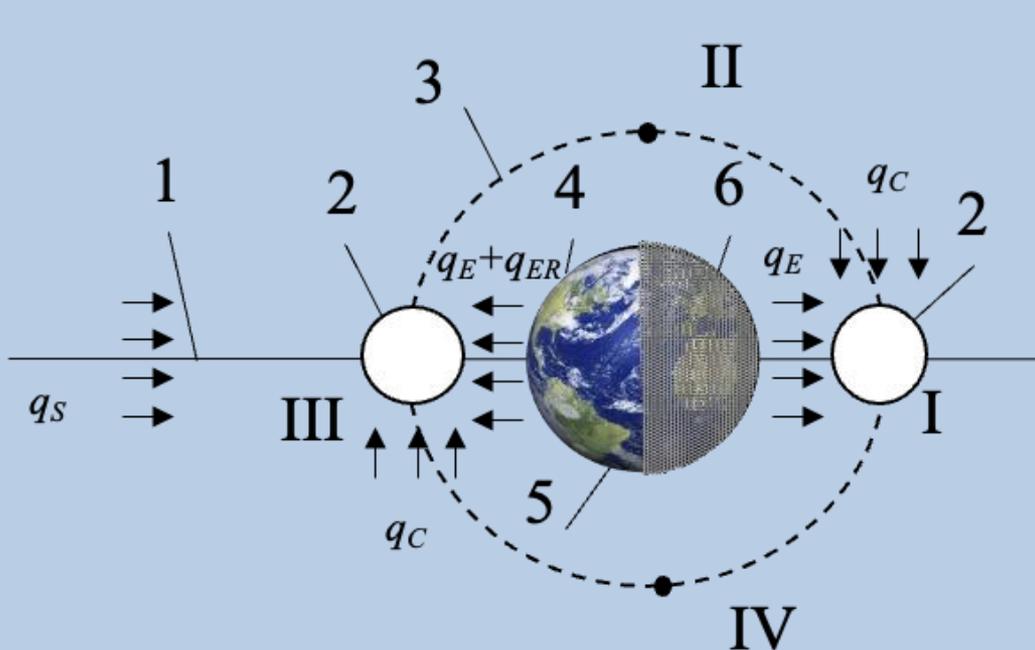
Температурное поле металлизированной оболочки на высоте 144 км



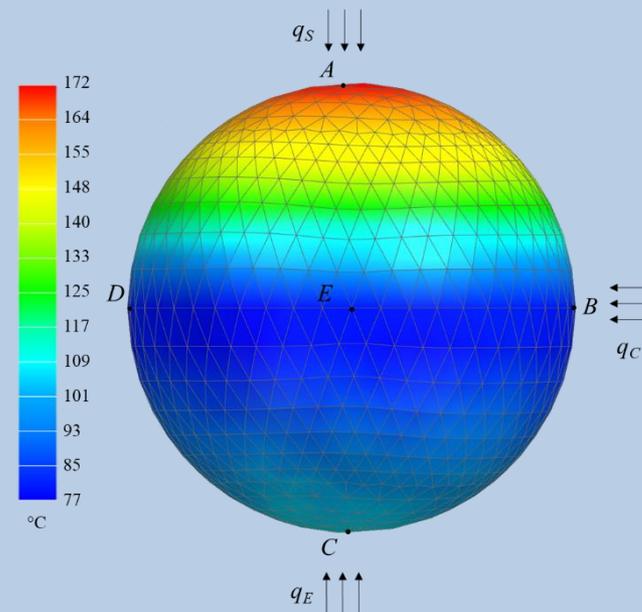
Изменение температуры в характерных точках металлизированной оболочки, красной линией отмечена критическая температура для ПИ пленки

Определение теплового режима оболочки НТУ

Орбита с теневым участком



- 1 – плоскость эклиптики; 2 – оболочка НТУ;
 3 – орбита НТУ; 4 – Земля; 5 – линия терминатора;
 6 – экватор Земли, I-IV – положения оболочки во время орбитального полета



Температурное поле оболочки без покрытия в момент времени, соответствующий положению III

В рамках проекта «Передовые инженерные школы» практическую значимость проводимых в университетах работ должны обеспечить тесные связи с кураторами из ГК «Роскосмос», ГК «Росатом» и ГК «Ростехнологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана получила поддержку своих планов в ГК «Роскосмос». Общим признаком всех планов стала системная инженерия, предусматривающая активные межпредметные связи.

При реализации планов опережающей подготовки специалистов необходимо учитывать исторический опыт организации инициативных студенческих проектов.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ