

УДК 532.55

Оптимизация напорной магистрали системы заправки низкокипящим компонентом ракетного топлива

Пастухов Данила Андреевич^(*)

pastuhov.danila1@yandex.ru

Филиал АО «ЦЭНКИ» — НИИ СК им. В.П. Бармина, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности моделирования состояния низкокипящей жидкости при ее движении по трубопроводу с экранно-вакуумной теплоизоляцией. Представлена методика по подбору оптимальных параметров напорной магистрали системы заправки низкокипящим компонентом ракетного топлива. Показаны зависимости энергетических потерь низкокипящей жидкости от изменения диаметра магистрального трубопровода. Проведен расчет на основе проекта системы заправки жидким водородом. Сделан вывод о валидности предложенной методики на основе проверки результатов с помощью программного комплекса ANSYS.

Ключевые слова: ракетное топливо, системы заправки, криогенные жидкости, напорные магистрали, гидравлические потери

Введение. Определение вида и параметров напорной магистрали (НМ), типа и количества элементов запорно-регулирующей арматуры, входящей в ее состав, является одним из первых шагов при проектировании системы заправки низкокипящим компонентом ракетного топлива (СЗНКРТ). Цель этой работы — обобщить методику оптимизации НМ СЗНКРТ с учетом специфики стартовых ракетных комплексов.

Методы и материалы; результаты. Для описания энергетических изменений, происходящих с низкокипящим компонентом топлива (далее продукт) при его движении по НМ, используется система из 3 дифференциальных уравнений [1]: уравнения неразрывности потока, упрощенного уравнения Навье — Стокса для стационарного одномерного осесимметричного течения в трубопроводе постоянного сечения, уравнения сохранения энергии. Трубопровод НМ разбивается на участки между источниками местных сопротивлений и дополнительных теплопритоков (арматурой, фильтрами, компенсаторами, поворотами и пр.), при этом энергетические изменения, происходящие с продуктом в данных источниках, учитываются в начальных условиях интегрирования следующего за ними участка как изменение энтальпии и давления продукта.

На каждом шаге интегрирования учитывается изменения термодинамических свойств продукта, взаимозависимых от его температуры и давления. Вместе с этим учитывается изменение температуры стенок трубопровода, закладываемого с экранно-вакуумной теплоизоляцией, через уточнение линейной плотности теплового потока [2]. Также необходима проверка соответствия свойств продукта граничным условиям, в особенности недопущения его кипения [3] при движении по НМ. Конечным результатом являются тем-

пература и давление продукта на выходе из НМ. Затем проводится оптимизация [4] входных параметров с максимизацией входной температуры.

Был проведен расчет для проекта системы заправки жидким водородом разгонного блока «КВТК». На основе полученных результатов была проведена оптимизация с варьированием диаметра трубопровода НМ и поиском компромиссного решения между максимизацией температуры и минимизацией давления на входе. Варьирование диаметра трубопровода оказывает как прямое влияние на энергетические потери продукта, так и косвенное через изменение параметров запорно-регулирующей арматуры, что также было учтено.

Заключение. Полученные результаты прошли валидацию в программном комплексе ANSYS, а также в сравнении с результатами отраслевого расчета, что показывает пригодность данной методики для подбора оптимальных параметров НМ СЗНКРТ.

Список источников

- [1] Золин А.В., Чугунков В.В. Методика анализа теплообменных процессов компонентов ракетного топлива при выполнении операции заправки топливных баков ракеты на стартовом комплексе. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2012, № 12, с. 9–10.
- [2] Архаров А.М., Кунис И.Д. *Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, с. 94–99.
- [3] Хлыбов В.Ф. *Основы устройства и эксплуатации заправочного оборудования*. Москва, МО РФ, 2003, 189 с.
- [4] Подиновский В.В., Ногин В.Д. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. Москва, Физматлит, 2007, с. 40–43.

Содержание

Участники	3
Руководители оргкомитета	4
Программный комитет	4
Секция 1. Пионеры освоения космического пространства. История ракетно-космической науки и техники	5
<i>Самбуров С.Н.</i> Обзор и анализ научных чтений, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского с 1966 по 2025 гг. (глазами очевидца)	7
<i>Осташев М.А., Лебедев И.И.</i> Пионеры освоения космического пространства. История ракетно-космической науки и техники	10
<i>Лебедев И.И., Осташев М.А.</i> 100 лет ученику и соратнику основоположника отечественной практической космонавтики Сергея Павловича Королёва — Аркадию Ильичу Осташеву	13
<i>Судаков В.С., Колинова С.А.</i> Из истории создания двигателя ОРМ-65 (к 90-летию со дня начала создания)	16
<i>Герасютин С.А.</i> Конструктор, ученый, космонавт (к 100-летию со дня рождения К.П. Феоктистова)	19
<i>Коростелев С.Г.</i> Венера разоблаченная: 50-летие уникального отечественного телевизионного эксперимента и первых панорам венерианской поверхности .	22
<i>Кричевский С.В.</i> История идей, проектов, технологий, систем спасения людей в пилотируемых космических полетах	24
<i>Гвоздкова К.В., Матюшев Т.В., Охалкина О.Н., Козлов М.Л., Мохаммад С.К.</i> Вклад В.В. Стрельцова в развитие отечественной авиационной медицины	26
<i>Дубовец Л.А.</i> Личный фонд Леонида Константиновича Корнеева в архиве Российской академии наук	28
<i>Лосицкий В.П.</i> Роль и значение органов НКВД в формировании высокотехнологичных производств в предвоенный и военный период 1937–1944 гг.	30
<i>Батченко В.С.</i> Подготовка космонавтов по программе ЭПАС в 1973–1975 гг.	32
<i>Моисеенко В.В., Резник С.В.</i> К истории студенческих командных проектов: начало развития практической космонавтики и ракетостроения	34
<i>Рыжков В.В., Кольцова А.В., Золотарев А.В.</i> Уникальная советская разработка — орбитальный корабль «Буран»	36
<i>Морозов С.Л.</i> Линейное лунное время цивилизации — основа астронавигации во Вселенной	38
Секция 2. Летательные аппараты. проектирование и конструкция	41
<i>Щеглов Г.А., Подчуфаров А.А.</i> Концепции взаимодействия пилотируемой орбитальной станции с группировкой автоматических космических аппаратов	43

<i>Кислицкий М.И.</i> К выбору наклона орбиты пилотируемой орбитальной станции	45
<i>Соболев И.А., Самыловский И.А., Шелахаев С.А.</i> Оценка коэффициента лобового сопротивления сверхнизкоорбитальных космических аппаратов	48
<i>Соболев И.А., Самыловский И.А., Богачёва А.Е.</i> Оценка величины падения орбиты сверхнизкоорбитальных космических аппаратов	50
<i>Бечаснов П.М.</i> Массовый анализ ракет-носителей малой грузоподъемности	52
<i>Бечаснов П.М.</i> Оценка применимости автономного электродинамического троса для управления низкоорбитальными космическими аппаратами	54
<i>Бечаснов П.М., Дроздов И.П.</i> Прогноз пусковой активности в зависимости от динамики экономического развития запускающих государств	56
<i>Кульков В.М., Тузиков С.А., Фирсюк С.О., Егоров Ю.Г.</i> Вопросы управления траекторным движением и построения режимов функционирования малых космических аппаратов с орбитальной тросовой системой	58
<i>Кададова А.В.</i> Моделирование тепловых режимов космического аппарата на основе параллельной реализации метода конечных объемов	61
<i>Коваленко С.И., Потюпкин А.Ю.</i> Технический ресурс многоспутниковой орбитальной группировки дистанционного зондирования Земли	63
<i>Финогенов С.Л., Тузиков С.А.</i> Мониторинг Земли с использованием космических аппаратов с солнечным концентратором на различных высоких орбитах	66
<i>Кунгурцев А.М., Балык В.М.</i> Многокритериальная оптимизация проектных параметров мультиспутниковой системы дистанционного зондирования Земли	68
<i>Неверов А.А.</i> Универсальный численный оптимизатор ракет и их траекторий	70
<i>Малов Е.А.</i> Метод проектно-баллистического анализа зондов главного пояса астероидов	72
<i>Миненко В.Е., Солодкая Е.В., Столярова Н.А.</i> Программа оптимизации методов повышения надежности пилотируемой марсианской экспедиции	74
<i>Каменева В.А., Миненко В.Е.</i> К вопросу создания методики проектирования малогабаритных спускаемых аппаратов капсульного типа	76
<i>Кремнев Д.В., Леонов В.В.</i> Анализ возможности многоразового применения комбинированной тепловой защиты для аппарата класса «несущий корпус»	78
<i>Леонов В.В., Зарубин В.С.</i> Анализ термонапряженного состояния многослойного анизотропного теплозащитного покрытия с учетом полупрозрачности изоляционного слоя	80
<i>Нгессан Я.М.Р., Зарубин В.С.</i> Разработка теплозащитных покрытий для многоразового космического аппарата	82
<i>Дронов П.А., Величко В.В., Гуфайзен А.Л.</i> Системы подачи и регулирования рабочего тела в двигательных установках космических аппаратов	84
<i>Гусев Е.В., Заговорчев В.А., Родченко В.В., Садретдинова Э.Р., Шипневская Е.А.</i> Алгоритм выбора проектных параметров снарядов-пробойников активно-реактивного типа для движения в грунте	86
<i>Иванов Г.М., Муртазин Р.Ф.</i> Методика увеличения выводимой массы разгонного блока за счет снижения требований к точности выведения ракеты-носителя ...	88

<i>Боровик И.Н., Боровиков Д.А., Иванов А.В.</i> Оптимизация легкой ракеты-носителя для вывода полезной нагрузки на полярную орбиту	90
<i>Шаринский Д.С.</i> Классификации бортовой аппаратуры модулей орбитальных станций на основе единства типоразмеров их корпусов	93
<i>Савельев Д.М.</i> Расчет и анализ безопасного отделения головного обтекателя твердотопливной космической ракеты-носителя Старт-1М	95
<i>Семухин Р.И., Зверков И.Д., Мешков А.А.</i> Сравнительный анализ раздвижного крыла и классического крыла большого удлинения для стратосферных самолетов	98
<i>Айхлер А.А., Белов Г.В., Колчина А.А.</i> Определение оптимальных параметров экранно-вакуумной теплоизоляции многомодульного малогабаритного космического аппарата	100
<i>Коробкова А.В.</i> Математическое моделирование волоконно-оптических брэгговских решеток для мониторинга деформаций авиационных конструкций	102
<i>Украинская В.В., Абрамова Е.Н., Резник С.В.</i> Техничко-экономическое обоснование выбора формы и параметров оболочки надувного тормозного устройства ИСЗ	105
<i>Несмелова К.С., Муртазин Р.Ф.</i> Использование аэродинамического торможения для выведения космического аппарата на околоземную орбиту при возвращении от Луны	107
<i>Методика оценки проектных параметров высокоскоростной системы выпуска троса Онищук С.Ю.</i> для увода космического мусора на ранней стадии проектирования	109
<i>Петров А.В., Пешков Р.А., Мельникова О.А.</i> Анализ исходных данных для проектирования средств инициации ввода парашютной системы	111
<i>Буланаева-Климова Н.Ю., Худорожко М.В., Хоменко В.В.</i> Разработка опытного образца технологической установки для спекания имитатора лунного грунта	113
<i>Хоменко В.В., Худорожко М.В., Буланаева-Климова Н.Ю.</i> Экспериментальное определение теплофизических характеристик и микроструктуры спеченного имитатора лунного грунта	115
<i>Беляков А.А., Шулепов А.И.</i> О некоторых особенностях оптимизации компоновки приборов на поздних стадиях разработки космического аппарата	118
<i>Лузин А.Б.</i> Возможный подход к моделированию движения центра масс блока независимого наведения на активном участке выведения по нестандартным траекториям	120
<i>Боровиков А.А.</i> Методика определения расположения межпанельных кронштейнов корпуса космического аппарата с использованием метода ESO-SIMP топологической оптимизации	122
<i>Дубровин И.Г., Торпачев А.В.</i> Исследование перспектив применения различных типов накопителей энергии в топливных системах летательных аппаратов	124
<i>Барановски С.В., Чудинова М.С.</i> Выбор и обоснование силовой конструкции крыла из полимерных композиционных материалов перспективного магистрального самолета	126

<i>Янбаев Р.М., Шестакова Е.А.</i> Аддитивно-субтрактивные технологии изготовления протяженных малоустойчивых тонкостенных деталей летательных аппаратов из алюминиевых сплавов	128
<i>Загидуллин Р.С., Ткаченко А.А.</i> Разработка технологической оснастки для серийной роботизированной сборки беспилотных летательных аппаратов в условиях аддитивного производства	131
<i>Казаринов М.Ю., Просунцов П.В.</i> Выбор параметров конструктивно-силовой схемы рефлектора зеркальной космической антенны на основе применения методов топологической оптимизации	133
<i>Григорян В.И., Просунцов П.В., Тимошенко В.П., Федюнина Е.Р.</i> Повышение равномерности прогрева заготовки рефлектора зеркальной космической антенны при его изготовлении за счет совершенствования состава оборудования автоклава	135
<i>Джан Цыкунь.</i> Расчет напряженно-деформированного состояния элементов крупногабаритного трансформируемого каркаса космической антенны	138
<i>Щербаков П.И., Денисов О.В., Денисова Л.В.</i> Исследования теплопроводности композитного рефлектора с применением локального контактного нагрева углеродными лентами	140
<i>Васильева В.А.</i> Результаты испытаний разъемных соединений трубопроводов двигательных установок малых космических аппаратов	142
<i>Быков А.А.</i> Испытательный стенд для экспресс-оценки пригодности материала и конструктивного исполнения проставки сопла к условиям работы авиационного газотурбинного двигателя	144
<i>Ашравзянова А.А.</i> Совместное влияние схем выкладки слоев и геометрических начальных несовершенств на устойчивость при осевом сжатии слоистых композитных цилиндрических оболочек	147
<i>Токарев А.Е.</i> Оценка прочности торообразных металлических конструкций высоконагруженных внутренним давлением в рамках критерия В.И. Феодосьева	150
<i>Егоров А.В., Васильев Ф.А.</i> Определение напряженно-деформированного состояния составного представительного элемента криогенного цилиндрического бака в процессе захолаживания с учетом прижимной упругой сетки	153
<i>Сычев А.В., Текеев Б.Х.</i> Разработка двухместного учебного планера	155
<i>Быков А.Е., Новиков А.О.</i> Перспективность создания микромеханического гироскопа на принципах электромагнитного возбуждения и магнитоэлектрического детектирования колебаний	157
<i>Ващенко А.Н., Григорьев М.Н.</i> Успешный пример реализации городской воздушной мобильности пассажиров с помощью беспилотных летательных аппаратов в КНР	160
<i>Вай Ян У, Михайловский К.В.</i> Выбор рациональной конструктивно-силовой схемы крыла легкого спортивного самолета из углепластика с использованием параметрического моделирования	162
<i>Тар Хтет Сан, Новиков А.Д.</i> Разработка композитной конструкции малого искусственного спутника Земли	164

<i>Аунг Ко Тхет, Думанский А.М.</i> Расчет прогиба композитной балки при изгибе с учетом реологических эффектов	166
<i>Кхайн Пхью Зо, Барановский С.В.</i> Выбор геометрического облика крыла легкого самолета при различных случаях полета	168
Секция 3. Основоположники аэрокосмического двигателестроения и проблемы теории и конструкций двигателей летательных аппаратов	171
<i>Горелов Д.Я., Ларин Д.А., Ворожеева О.А.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния поворотного управляющего сопла с эластичным опорным шарниром ракетного двигателя твердого топлива	173
<i>Валиуллин Д.А., Святушенко В.В.</i> Обоснование рационального химического состава порошкообразного металлического горючего для среднего двигателя, функционирующего в углеродсодержащей окислительной среде	175
<i>Аристархов Д.А., Кондаков Е.Е., Онуфриев В.В.</i> Расчетные характеристики потока слабоионизованного газа в канале малого диаметра двигателя с дополнительным подводом тепла	177
<i>Кондаков Е.Е., Аристархов Д.А., Онуфриев В.В.</i> К вопросу об оптимизации подвода тепла и длины камеры электротермического ускорителя	179
<i>Широкова Д.Д., Кочетов А.И., Широкова Е.С., Черемушкин В.А.</i> Оптимизация малогабаритного электронасосного агрегата для подачи топлива в жидкостный ракетный двигатель	182
<i>Широкова Д.Д., Нафиков М.И., Щедрин В.В.</i> Автоматизированная установка экструзионного хонингования для постобработки деталей, изготовленных методом селективного лазерного спекания	184
<i>Щедрин В.В., Нафиков М.И., Абаничев В.В.</i> Испытательный стенд для исследования каталитического разложения перекиси водорода для ракетно-двигательных установок	186
<i>Нафиков М.И., Глебов Г.А.</i> Интенсификация теплообмена в рубашке охлаждения камеры сгорания ЖРД	189
<i>Алпатов И.В.</i> Математическое моделирование регулируемого стояночного уплотнения криогенного насоса окислителя ЖРД	191
<i>Самойлов А.В., Силуянова М.В.</i> Исследование зависимости параметров охлаждающего воздуха от угла закрутки в системе охлаждения турбины высокого давления двухконтурных газотурбинных двигателей	193
<i>Федянин В.В., Шалай В.В.</i> Повышение эффективности ионизации маломощного плазменного двигателя с использованием дополнительного высокочастотного разряда	195
<i>Мырзин В.В., Иванов А.В., Шершенков И.А., Широкожухова А.А., Иванов Н.Г., Кашанов М.А.</i> Применение форсунок-свидетелей при изготовлении смесительных головок по аддитивной технологии	198
<i>Соломонов А.В.</i> Высокочастотное горение топлива в цилиндрической камере сгорания жидкостного ракетного двигателя	200
<i>Асеев А.А., Афанасьев А.А., Космачев Ю.П.</i> Обеспечение антикавитационных качеств бустерных турбонасосных агрегатов при работе на кипящих компонентах топлива	202

<i>Кондряков А.Д., Гареев Р.Р., Кувакин Д.М.</i> Особенности проектирования осевых компрессоров современных газотурбинных двигателей	204
Секция 4. Космическая энергетика и космические электроракетные двигательные системы — актуальные проблемы создания и обеспечения качества, высокие технологии	207
<i>Дронов П.А., Комаров А.А., Попова Ю.В., Приданников С.Ю., Пятых И.Н., Толстель О.В.</i> Маршевые двигательные установки тяжелых транспортных систем	209
<i>Дронов П.А., Комаров А.А., Нестеренко А.Н., Приданников С.Ю., Степанова Е.С., Толстель О.В.</i> Возможные конфигурации двигательных установок аппаратов исследования дальнего космоса	211
<i>Мятежный Д.Н., Андриющенко И.С., Подлосинская А.П., Телех В.Д.</i> Исследование макета импульсного вакуумного дугового ускорителя с внешним магнитным полем	213
<i>Кириченко Д.С.</i> Возникновение реактивной силы путем лазерной абляции в условиях приближенных к вакууму	215
<i>Булавкина А.М., Егосин Д.А., Пасынкова Д.С., Телех В.Д.</i> Анализ спектров излучения плазмы в абляционном импульсном плазменном двигателе на основе алгоритмов машинного обучения	218
<i>Егоров И.Д.</i> Коллоидный ракетный двигатель («электроспрей») на ионной жидкости для космических аппаратов формата CubeSat	220
<i>Болотов Я.К., Мозговой А.Г., Огинов А.В., Столбов С.Н., Тиликин И.Н., Толстяков А.Я.</i> Маятниковые измерения импульса ускоренного плазмоида для ЭРД	222
<i>Малахов В.Е., Фанин А.А., Нигматзянов В.В.</i> Разработка и испытание энергоанализатора для электрического ракетного двигателя по типу электроспрей	224
<i>Бухаров А.В.</i> Перспективы использования многоструйных генераторов капельных потоков для сброса избыточного тепла от космических установок большой мощности	227
<i>Онуфриев В.В.</i> Об оптимизации массоэнергетических и электрических характеристик бортовой кабельной сети мощной энергодвигательной установки с низкопотенциальным источником энергии	229
<i>Акатьев И.Д., Яшин М.С., Онуфриев В.В.</i> К расчету температуры области возбужденных атомов ионного слоя тлеющего разряда	233
<i>Акатьев И.Д., Яшин М.С., Онуфриев В.В.</i> Исследование режима неэлектрического управления ионным слоем высоковольтного термоэмиссионного диода	235
<i>Агафонов А.Е., Сафронов А.А.</i> Применение метода сглаженных частиц для моделирования течения жидкости со свободной поверхностью в условиях микрогравитации	237
Секция 5. Прикладная небесная механика и управление движением	239
<i>Голубев Ю.Ф.</i> Формула Д.Е. Охочимского для первой вариации	241
<i>Боровин Г.К., Платонов А.К.</i> — один из российских пионеров освоения космического пространства (к 95-летию со дня рождения)	243

<i>Ивашкин В.В.</i> О некоторых работах по механике космического полета в СССР в начале 1960-х годов	245
<i>Широбоков М.Г., Перепухов Д.Г., Забара И.Д.</i> Нейросетевые и гибридные методы коррекции движения в окрестности окололунных орбит	247
<i>Зубко В.А., Эйсмонт Н.А., Пупков М.В., Черненко О.С., Федяев К.С.</i> Исследование схем облета астероидов за счет гравитационных маневров у Венеры	249
<i>Царегородцев А.Ю.</i> Поддержание низкой полярной околокруговой орбиты искусственного спутника Луны	251
<i>Буров А.А., Никонов В.И.</i> О периодических движениях в окрестности равномерно вращающегося астероида с нерегулярным распределением масс	253
<i>Ролдугин Д.С., Маштаков Я.В.</i> Конструирование адаптивной линейной скользящей поверхности для построения магнитного управления ориентацией ...	255
<i>Каленова В.И., Морозов В.М., Тихонов А.А.</i> О стабилизации установившихся движений спутника-гиростата в гравитационном и магнитном полях	257
<i>Иванюхин А.В., Емельянов А.В.</i> Анализ схемы Спитцера с учетом теневых участков	259
<i>Орлов В.В., Иванов Д.С.</i> Оптическая относительная навигация космических аппаратов при отделении на орбите	261
<i>Гордиенко Е.С., Ивашкин В.В., Розин П.Е., Добрица Д.Б.</i> Методика построения траекторий облета Луны с возможностью возвращения космического аппарата на траекторию полета к Земле	263
<i>Забара И.Д., Широбоков М.Г., Перепухов Д.Г.</i> Методы оценки наибольших отклонений от лунных гало-орбит	265
<i>Исмагилов А.Р.</i> Об одном редуцированном уравнении плоского движения гантели на многообразии «гравитационный пропеллер» в обобщенной эллиптической задаче Ситникова	267
<i>Макаров Г.Р., Ткачев С.С.</i> Параметризация кватерниона ориентации в задаче быстрогодействия переориентации космического аппарата	269
<i>Чугунов В.В.</i> Оптимизация одноимпульсного маневра уклонения космических аппаратов	271
<i>Перепухов Д.Г.</i> Исследование эффективности Sundiver-траекторий аппаратов с солнечным парусом	273
<i>Мисюра Н.Е., Митюшов Е.А.</i> Сравнительный анализ энергоэффективности управления угловым движением космических аппаратов с выраженной анизотропией моментов инерции	275
<i>Демидов М.С.</i> Разработка робастного алгоритма определения ориентации и орбиты для наноспутников формата CubeSat	277
<i>Иванюхин А.В., Ивашкин В.В.</i> Оценка возможности использования гравитационного маневра у Луны для пролета астероида Апофис в момент его сближения с Землей	279
<i>Иванов Д.С., Богомолов А.В., Свертилов С.И., Богомолов В.В., Оседло В.И.</i> Алгоритм определения ориентации осей наноспутника формата кубсат по измерениям бортового магнитометра	281

<i>Нерядовская Д.В.</i> Раскачивание и стабилизация тросовой системы, закрепленной в точке либрации L1, в круговой ограниченной задаче трех тел	283
<i>Широбоков М.Г.</i> Проектирование низкоэнергетических траекторий перелета к Луне на основе теории вековых возмущений	285
<i>Лысенко А.С., Кулакова В.И., Нехороших А.Н., Кулаков А.Ю., Ментюков М.В., Першин Д.В.</i> Отработка алгоритмов ориентации по технологии «Software-in-the-Loop» и летные испытания системы управления движением спутника ДЗЗ форм-фактора 12U	287
<i>Плахотнюк А.В., Притыкин Д.А.</i> Об определении необходимого числа резервных космических аппаратов в составе низкоорбитальной группировки спутниковой связи	291
<i>Целоусова А.А.</i> Алгоритм однопускового развертывания многоплоскостных лунных констелляций с использованием низкоэнергетических траекторий	294
<i>Клюшин М.А., Тихонов А.А.</i> Об управлении движением группировки космических аппаратов с использованием силы Лоренца	296
<i>Грушевский А.В., Тучин А.Г.</i> О расширенном использовании диаграммы Тиссерана — Пуанкаре для баллистического проектирования межпланетных перелетов	298
<i>Понимасов Ю.С., Николичев И.А.</i> Оптимальный межпланетный перелет Земля – Меркурий космического аппарата с солнечным парусом с предельным сочетанием проектных параметров	300
<i>Федурина А.П., Иванов Д.С.</i> Управление относительным движением космических аппаратов формата кубсат для решения задачи фазирования с помощью аэродинамической силы сопротивления	303
<i>Симонов А.В., Косенкова А.В.</i> Анализ возможности дистанционных исследований межзвездных объектов космическими аппаратами с пролетных траекторий ...	305
<i>Гришко Д.А., Иванов С.Г.</i> Обзор проблемы устойчивости средних орбит в окрестности глобальных навигационных спутниковых систем	307
<i>Волков Е.В., Бардин Б.С.</i> Об устойчивости центральной конфигурации ограниченной задачи четырех тел при резонансах пятого и шестого порядков	309
<i>Чиняев В.Н., Кузнецов А.А., Чугунов В.В., Завьялова Н.А.</i> Об ускоренном алгоритме для расчета маневров встречи	311
<i>Ли Ханьюй, Старинова О.Л.</i> Перелет космического аппарата на основе прогнозирующего управления	313
<i>Родников А.В.</i> Об организации перемещения КА между гелиоцентрическими станциями с помощью неизменно ориентированных солнечных парусов	315
<i>Черненко О.С., Эйсмонт Н.А.</i> Проектирование низкоэнергетических резонансных траекторий околоземных астероидов в системе Земля – Луна	317
<i>Алямовский С.Н., Беляев М.Ю., Иванов Д.С., Орлов В.В., Овчинников М.Ю.</i> Определение движения свободно парящего тела внутри МКС по результатам обработки фото- и видео-информации	319
<i>Байков А.Е.</i> Исследование устойчивости равновесных конфигураций мира-кольца в плоской ограниченной обобщенной задаче трех тел	321

<i>Якин А.В., Карпунин А.А.</i> Адаптивная система управления пространственным движением реактивного лунного модуля	323
<i>Даминов Р.Р., Ахлумади М.Р.</i> Сравнительный анализ схем размещения маховиков в задачах оптимального управления ориентацией космического аппарата	325
<i>Бакулин Д.В., Ледков А.С.</i> Усредненная модель динамики бесконтактной транспортировки космического мусора с учетом влияния атмосферы	328
Секция 7. Развитие космонавтики и фундаментальные проблемы газодинамики, горения и теплообмена	331
<i>Левин В.А., Афонина Н.Е., Нго Куанг Туен, Хмелевский А.Н.</i> Особенности пульсирующего режима обтекания тела с иглой газовым потоком	333
<i>Иванов М.Я., Левин В.А., Марков В.В.</i> Гидромеханика и электродинамика космоса в свете экспериментов XXI века	335
<i>Сизых Г.Б., Чернов С.В.</i> О свойствах критической линии тока при сверхзвуковом обтекании несимметричного гладкого выпуклого тела	338
<i>Кукишинов Н.В., Евстигнеева В.Е., Подчуфаров А.А., Ганцев А.А.</i> Численное моделирование парожидкостной сепарации воды и кислорода в условиях микрогравитации	340
<i>Волков Л.С., Мирошников Я.В., Трошкин Р.С., Фирсов А.А.</i> Экспериментальное исследование возбуждения поперечной струи в сверхзвуковом потоке в присутствии периодических искровых разрядов	342
<i>Чернышов М.В., Лаптинская М.М.</i> Особенности высокоскоростного течения с импульсным энерговыделением на прямом скачке уплотнения	344
<i>Загородников С.А., Силюянова М.В.</i> Методика газодинамического анализа комбинированной системы щеточного и лабиринтного уплотнений в перспективных авиационных двигателях	346
<i>Ильинков А.В., Стародумов А.В., Такмовцев В.В., Щукин А.В., Киселев А.А.</i> Теплоотдача при обтекании выемок различной формы пульсирующим потоком	349
<i>Немченко А.М., Чибисова Л.В., Пичужкин П.В.</i> Разработка численной модели для прогнозирования эффективности плиточной теплозащиты в широком диапазоне температур и давлений	351
<i>Кочегарова А.В., Борщев Н.О., Рахимов Р.Ф., Тимеркаева Р.А.</i> Разработка двумерной модели аксиальной тепловой трубы с распределенными параметрами	353
<i>Алтунин В.А., Садыков М.З., Абдуллин М.Р., Хуснутдинов Р.И., Хабибуллин А.М., Кореев Е.П.</i> Разработка новых конструктивных схем пульсирующих воздушно-реактивных двигателей для беспилотных летательных аппаратов и теплогенераторов для наземных энергоустановок	355
<i>Юсупов А.А., Львов М.В., Селянин К.А., ЩигOLEV А.А., Кореев Е.П., Вахитова А.Р.</i> Экспериментальная установка для исследования возможностей электрического ветра в жидких углеводородных горючих и моторных авиационных маслах при различных термодинамических условиях	357
<i>Алтунин В.А., Давлатов Н.Б., Кореев Е.П., ЩигOLEV А.А., Хабибуллин А.М., Хуснутдинов Р.И.</i> Экспериментальное исследование возможности повышения	

теплофизических и термодинамических свойств жидкого чистого гидразина путем применения нанотехнологий	339
<i>Алтунин К.В., Пронин К.А., Абдуллин М.Р., Поспелов И.В., Вахитова А.Р., Яновская М.Л.</i> Разработка новых конструктивных схем топливных форсунок повышенных характеристик для воздушно-реактивных двигателей	361
<i>Хасин А.А., Мингазова Э.А., Курочкина А.Н., Кудрицкий А.Н.</i> Расчет тепловой нагрузки лунной оранжереи для системы терморегулирования лунной базы ...	363
Секция 8. Экономика и управление предприятиями ракетно-космической промышленности	365
<i>Баранов А.С., Рогоуленко Т.М.</i> Повышение экономической эффективности научекоких предприятий за счет автоматизации и цифровизации производственных и управленческих процессов	367
<i>Бочкарёв И.И.</i> Модернизация складских и производственных процессов предприятий ракетно-космической отрасли	369
<i>Герцик Ю.Г., Горлачева Е.Н., Омельченко И.Н.</i> Управление реализацией совместных проектов в области освоения космического пространства странами БРИКС на основе кластерного подхода	371
<i>Козина Е.М., Разумов Д.А., Цыпочка Д.Г.</i> Система поддержки принятия решения для балансировки федерального проекта по развитию космических средств ...	374
<i>Махров А.В.</i> Повышение эффективности реализации национального проекта «Развитие космической деятельности» с помощью отраслевого скользящего стратегического планирования	376
<i>Наугольнова И.А.</i> Научные основы формирования киберфизической системы менеджмента качества продукции ракетно-космической отрасли	378
<i>Нилов М.Ю., Зарипов Р.Н.</i> Экономические вопросы развития отечественного научекокого машиностроения и предложения по их решению	381
<i>Ожогин Г.А.</i> О внедрении проектного управления в ракетно-космической отрасли	385
<i>Полуэктов Р.М.</i> Концепция импортонезависимой цифровой инфраструктуры в ракетно-космической отрасли на основе гибридных блокчейн-платформ	387
<i>Рыжикова Т.Н.</i> Повышение экономической эффективности изделия за счет создаваемой инфраструктуры	389
<i>Рыжикова Т.Н.</i> Создание неземной космической инфраструктуры — стратегическая задача отечественной космонавтики	391
<i>Самойлов Д.И.</i> Теоретико-методологические основы экономического прогнозирования в российской ракетно-космической отрасли	393
<i>Татарченко Е.А.</i> Комплексная методология управления спутниковым проектом на основе цифрового двойника прототипа	395
<i>Успенский А.С., Дрогозов П.А.</i> Актуальное состояние и перспективы развития российской космической отрасли в условиях глобальной борьбы за технологическое лидерство	397
<i>Цыпочка Д.Г., Разумов Д.А., Козина Е.М.</i> Многокритериальная оценка вариантов решения задач управления федеральными программами (проектами) по созданию космической техники	400

<i>Яценко В.В., Губина Е.А.</i> Кадры для космоса: цели, задачи, перспективы	402
<i>Яценко Р.Д.</i> Трансформация производственной системы ракетно-космической отрасли: задачи, направления, организационно-экономический механизм	405
Секция 9. Космонавтика и устойчивое развитие общества (концепции, проблемы, решения)	409
<i>Воронцов В.А.</i> Перспективы исследования Венеры аэростатными зондами	411
<i>Матвеев Ю.А., Позин А.А.</i> Развитие космических технологий и вопросы безопасности существования государства (опыт системного анализа)	413
<i>Балугин Н.В., Юшков В.А., Хайкин С.М.</i> Подспутниковые аэрологические технологии для валидации дистанционных лидарных наблюдений космического базирования	415
<i>Козин А.М., Данелян Б.Г.</i> Некоторые результаты применения спутниковой информации дистанционного зондирования поверхности Земли для определения характеристик подстилающей поверхности после лесных пожаров	418
<i>Митина А.А., Темарцев Д.А.</i> Радиосвязь как необходимый элемент полета человека в космос	420
<i>Воронцов В.А., Любезный Б.В., Украинская В.П.</i> Эволюция принципа воздушного змея: от древнейших летательных аппаратов к планетным атмосферным зондам	423
<i>Киспе Мендоза М.В., Воронцов В.А.</i> Анализ форм спускаемых аппаратов для ввода в действие аэростатов в атмосфере Венеры	425
<i>Алтухов Е.С.</i> Анализ влияния конусного угла на сопротивление и устойчивость зонда-пенетратора в атмосфере Венеры	427
<i>Инжечик Л.В., Сенкевич А.П.</i> Возможность применения методов мюонной томографии для исследования малых планет	429
<i>Ефимов Д.П., Юренская С.А.</i> Излучатель для защиты объектов от беспилотников	433
<i>Твердохлебов Л.И.</i> К вопросу о применении низкоорбитальной космической группировки зондирования Земли для мониторинга объемов сжигания попутного нефтяного газа и технического состояния магистральных нефтепроводов	436
<i>Майорова В.И., Игрицкий В.А., Каменева В.А., Логинова А.А., Возиянова В.В.</i> Подбор конструкционных материалов для долговременной обитаемой базы в атмосфере Венеры	438
<i>Зыков Н.А.</i> Разработка планов пилотируемых космических экспедиций с учетом современных задач	441
<i>Белозерова Т.Ю., Данелян Б.Г.</i> Применение спутниковых метеоданных в прогнозировании лесных пожаров	444
<i>Гарамова Л.Н.</i> О создании модели новой космической экономики	446
<i>Василевский В.В.</i> Анализ эффективности низкоорбитальной системы спутниковой связи при передаче мультимедийного трафика	448
Секция 10. Космонавтика и культура	451
<i>Зубарева Т.И.</i> Историко-просветительский проект «Герои воздушных сражений»	453

<i>Афендикова Н.Г.</i> Проект «Союз — Аполлон» в кабинете-музее академика М.В. Келдыша	455
<i>Садовский А.М., Закутняя О.В.</i> Дорога в космос — конференция по космическому образованию	457
<i>Казурина П.В., Малая Е.В.</i> Архитектура научно-исследовательской базы для постоянного пребывания на Марсе	459
<i>Белаковский М.С., Куссмауль А.Р., Волошин О.В.</i> Мемориальные кабинеты директоров Института медико-биологических проблем как средство сохранения научно-исторического наследия	461
<i>Садовский А.М., Закутняя О.В.</i> Увидеть космос — научные достижения	463
<i>Линник Н.В.</i> Искусство русского космизма и эстетика времени в философской фантастике Ю.В. Линника	466
<i>Гагарина Н.Б.</i> Международный культурно-просветительский проект «Космос. Моя история»	468
Секция 11. Наукоемкие технологии в ракетно-космической технике	471
<i>Иванов В.Л., Макаров М.И.</i> Передовые и перспективные космические технологии стратегической космической зоны	473
<i>Вокин Г.Г.</i> О дистанционно-кибернетическом способе доставки полезных грузов к целевым объектам	477
<i>Насибулин М.Ш., Рудаков В.Б.</i> Оптимальный приемочный контроль надежности электронных систем космической техники по иерархии их производства	479
<i>Блинов Д.С., Носова О.А.к., Носов А.С.</i> Разработка универсального стенда для испытаний роликвинтовых механизмов	482
<i>Осико С.М., Сова А.Н.</i> Автоматизация подготовки ракет: разработка имитатора инерционности функционирования компонентов, систем ракеты космического назначения и стартового комплекса	484
<i>Алин Д.Н.</i> Частично многоразовая ракета-носитель на базе семейства «Ангара»	486
<i>Бахтин А.Г., Мухамедов Л.П., Кириевский Д.А.</i> Оценка силовых нагрузок, возникающих в конструкции многоблочных ракет-носителей, при аварийном выключении двигателей	488
<i>Маслова В.В., Белкин А.А.</i> Метод обнаружения мест негерметичности переходного отсека служебного модуля «Звезда» международной космической станции	490
<i>Левченко Д.А., Рязанцев А.Ю.</i> Технологические проблемы и особенности изготовления лопаток турбин	493
<i>Рязанцев А.Ю., Юхневич С.С.</i> Применение многоэлектродной обработки при производстве жидкостных ракетных двигателей	495
<i>Широкожухова А.А., Юхневич С.С.</i> Исследование гидравлических параметров агрегатов жидкостных ракетных двигателей	498
<i>Петряков А.С.</i> Суррогатное моделирование и оптимизация настроек системы ориентации и стабилизации космического аппарата	500
<i>Корнеев И.С., Колпаков В.И.</i> Компьютерное моделирование процесса механической обработки со высокими скоростями резания	502
<i>Корнеев С.С., Колпаков В.И., Корнеев И.С.</i> Реализация высокоскоростного фрезерования на операциях раскроя листа из алюминиевых сплавов	504

<i>Грибков А.С., Евдокимов Р.А., Мацак И.С., Тугаенко В.Ю.</i> Космические эксперименты по обработке элементов технологии дистанционного энергоснабжения и лазерной связи со спускаемыми аппаратами	506
<i>Ашарина И.В., Гришин В.Ю., Орлов А.В.</i> Сбое- и отказоустойчивая система управления орбитальной группировкой космических аппаратов	508
<i>Ашарина И.В.</i> Компьютерный вирус как разновидность враждебной неисправности в системе управления орбитальной группировкой космических аппаратов	510
<i>Долгов Е.В.</i> Особенности разработки и оценки системы раннего обнаружения программ-шифровальщиков в информационно-управляющей системе орбитальной группировкой космических аппаратов	513
<i>Цикунов В.С.</i> Микроархитектурная энергетика водорода. Микроструктурные топливные системы космических аппаратов.	515
<i>Чэнь Лэлэ.</i> Применение встроенных систем в авиационно-космической технике	517
<i>Прибылов И.А., Алиев А.Р.</i> Повышение интенсивности процесса наполнения емкостей газом высокого давления за счет охлаждения газа	519
<i>Жилыева М.А., Алиев А.Р.</i> Система поддержания избыточного давления газа в объекте наполнения	521
<i>Камшилина И.А.</i> Исследование свойств фотополимерных материалов для изготовления вибрационных демпферов технологических приспособлений методами аддитивного производства	523
<i>Медведев А.В.</i> Математическая модель результатов сборки электрогидравлических следящих приводов	525
<i>Филин А.Е.</i> Автоматизированная обработка результатов испытаний систем газоснабжения	527
<i>Ефимов Д.П., Эшанов А.А.</i> Метод очистки переменным магнитным полем	529
<i>Гросс А.А., Егоров М.В., Морозов О.В., Николадзе Г.М., Сазонов В.В., Харабадзе Д.Э.</i> Взаимосвязь дизайна индикаторных устройств со скоростью реакции оператора	532
<i>Хохлов А.В., Васильева Т.В.</i> Обзор и анализ исследований генеративного искусственного интеллекта в создании биоинспирированных материалов для аддитивного производства	534
<i>Смирнов П.А., Белкин А.А.</i> Архитектура интеллектуальной системы управления испытательного стенда	545
<i>Глушко А.Н., Гогуев Н.С.</i> Совместимость полимерных материалов 3Д печати, наполненных металлическими порошками с высококонцентрированным пероксидом водорода	548
<i>Штокал А.О., Рыков Е.В., Артемьев А.В., Баженова О.П., Ботилов Г.Н., Демина В.Д.</i> Особенности формирования МДО-покрытий на деталях, полученных методом 3D-печати	551
<i>Зубко А.И.</i> Экспериментальное исследование влияния на динамические параметры роторов изменения затяжки резьбовых соединений стяжных элементов конструкции	554

<i>Королев Ю.А.</i> Отработка алюминиевых сплавов в аддитивных технологиях при создании крупногабаритных обшивок изделий ракетостроительной отрасли .	556
<i>Рыбаков С.А., Гололобов В.В., Мухортова Н.Н.</i> Использование геоинформационных систем для проектирования базы на поверхности Луны ...	558
<i>Кунавин С.А., Базалеева К.О., Понкратова Ю.Ю., Бинков И.И.</i> Механические свойства жаропрочного Al-сплава, полученного методом селективного лазерного сплавления	564
<i>Кунавин С.А., Кривых А.В.</i> Механические свойства нержавеющей сталей марок 316L и ЭП302 при температуре жидкого гелия	566
<i>Кунавин С.А., Скоробогатых В.Н., Нахабина М.С., Хаймин С.В., Мельников А.П.</i> Влияние режимов нагружения и старения на механических свойства основного металла и сварного соединения стали 15ХМ	568
Секция 12. Объекты наземной инфраструктуры ракетных комплексов	571
<i>Абросимов Н.А., Абдурашидов Т.О.</i> Методология оценки и прогнозирования акустического воздействия на РКН при старте с пусковых установок заглубленного типа	573
<i>Маленков М.И., Волов В.А., Бармин И.В., Лазарев Е.А.</i> От Долговременной лунной базы (ДЛБ) к Международной научной лунной станции (МНЛС): современное развитие концепции лунной космической инфраструктуры	575
<i>Карпин А.Ю., Краснобаев Ю.Л., Мелешко В.Ю.</i> Новое направление применения водорода в ракетно-космической технике	578
<i>Борисов В.Г., Фурсов К.С., Шульга В.М., Николаев А.В.</i> Экспериментальное обоснование возможности применения весоизмерительных устройств типа УВПД для заправки ксеноном баков космических аппаратов	580
<i>Дронов П.А., Зыков А.А., Нестеренко А.Н.</i> Особенности заправки ксеноном двигательных установок формата кубсат	582
<i>Краснобаев Ю.Л., Соловьёв М.С., Булавский А.С.</i> Рекомендации по термической нейтрализации гептила	584
<i>Краснобаев Ю.Л., Мысков А.Н., Борисов Р.Б.</i> Учет дополнительных факторов при оценке последствий нештатных (аварийных) ситуаций с ракетно-космической техникой	586
<i>Игрицкий В.А.</i> Анализ возможностей создания унифицированных стартовых комплексов для пуска перспективных ракет космического назначения	588
<i>Сальников И.А., Зуев П.А., Кузнецов С.А.</i> Обоснование использования информационно-кибернетического подхода к созданию систем охлаждения приборов аппаратуры	590
<i>Мухин В.В., Шульга В.М., Николаев А.В.</i> Рассмотрение видов СГК. Проведение эксперимента по оценке переходной характеристики скорости реагирования при определении концентраций опасных веществ	592
<i>Лоховин В.А.</i> Предварительные результаты разработки программного комплекса для имитационного моделирования систем синхронизации шкалы времени в сетях связи общего пользования	595
<i>Осико С.М., Чугунков В.В.</i> Цифровой двойник процессов предстартовой подготовки перспективных ракет космического назначения: архитектура и практическая реализация	597

<i>Синельщиков А.В., Драгун Д.К.</i> Структурная и математическая модели показателя технического уровня технических комплексов космодромов для подготовки изделий ракетно-космической техники	599
<i>Синельщиков А.В., Драгун Д.К., Козьмин В.В.</i> Постановка и решение задачи оптимизации требований к надежности составных частей и основных элементов технических комплексов космодромов для подготовки изделий ракетно-космической техники	601
<i>Игрицкая А.Ю.</i> Определение параметров затухающих колебаний подвижных конструкций технологических средств наземных комплексов модифицированным обобщенным методом Прони	603
<i>Максимов А.С., Кирьянова А.Н., Матвеева О.П.</i> Численный расчет параметров естественного охлаждения жидкого продукта в автоцистерне	605
<i>Бобровник В.И.</i> Анализ факторов, влияющих на точность работы Системы контроля массы заправляемого компонента в баки летательных аппаратов на стартовых комплексах	607
<i>Бобровник В.И., Краснышева К.И., Захаренко А.Д., Чугунков В.В.</i> Эффективная реализация охлаждения углеводородного ракетного топлива в системах стартовых комплексов с использованием криогенного азота	609
<i>Матвеева О.П., Долгина В.В.</i> Обоснование возможности применения аммиачной холодильной установки для охлаждения горючего при подготовке к заправке летательных аппаратов	611
<i>Шиловская Д.Д., Зверев В.А., Языков А.В.</i> Особенности работы демпферов в системах экстренной эвакуации со стартовых комплексов	613
<i>Шиловская Д.Д., Иванов А.Г.</i> Анализ возможности использования российской бронетехники в системах экстренной эвакуации со стартовых комплексов	615
<i>Аксенова С.А., Игрицкий В.А.</i> Анализ возможностей организации бескрановой вертикальной сборки ракет космического назначения пакетной схемы	617
<i>Смирнов В.В., Чугунков В.В., Якинггулова З.А.</i> Анализ вариантов безопасного дренажа паров метана при подготовке и выполнении заправочных операций с летательными аппаратами на стартовых комплексах	619
<i>Хайруллин А.А., Габдуллин Д.Р.</i> Организационно-технологические подходы к сборке пусковой платформы и доставке ее составных частей на космодром «Восточный»	621
<i>Пастухов Д.А.</i> Оптимизация напорной магистрали системы заправки низкокипящим компонентом ракетного топлива	623

Научное издание

Л АКАДЕМИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ ПО КОСМОНАВТИКЕ

посвященные памяти академика С. П. Королёва
и других выдающихся отечественных ученых —
пионеров освоения космического пространства

Сборник тезисов

27–30 января 2026 г.

Том 1

Художник *Э.Ш. Мурадова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 19.06.2026. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 52,0. Тираж 70 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.