



Акционерное
общество «Военно-
промышленная корпорация
«НПО машиностроения»



Московский
государственный
технический университет
имени Н.Э. Баумана

Аэрокосмические технологии | 2019

*Научные материалы
Международной молодежной
научно-технической конференции,
посвященной 105-летию
со дня рождения академика В.Н. Челомея
(Российская Федерация, Реутов, 28 мая 2019)*

Сопредседатели оргкомитета –
Научные руководители конференции:

*Генеральный директор,
Генеральный конструктор
АО «ВПК «НПО машиностроения»
д. т. н., профессор*

**Леонов
Александр Георгиевич**

*Ректор
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
(национальный исследовательский
университет) д. т. н., профессор*

**Александров
Анатолий Александрович**

Москва
2020

УДК 629.78

ББК 39.6

А 99

А99 Аэрокосмические технологии: Научные материалы Международной молодежной научно-технической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея (Российская Федерация, Реутов, 28 мая 2019) / под ред. Р.П. Симоньянца – М.: Совместное издание АО «ВПК «НПО машиностроения» и МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2020. – 203 с.: ил.

Aerospace technologies: Scientific materials of the International Youth Scientific and Technical Conference dedicated to the 105th birthday of Academicians V.N. Chelomey (Russian Federation, Reutov, May 28, 2019) / Ed. R.P. Simonyants – M.: Joint publication of JSC MIC NPO Mashinostroenia and Moscow Bauman State Technical University. 2020. – 203 pages with illustrations.

ISBN 978-5-7038-5217-0

В сборнике представлены научные материалы Международной молодежной научно-технической конференции «Аэрокосмические технологии» (Реутов, 2019 г.) по тематическим направлениям: проблемы проектирования аэрокосмических систем; динамика и прочность конструкций; динамика движения и системы управления; прикладные задачи математического моделирования; информационные системы и технологии; вопросы экономики и менеджмента.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области аэрокосмической техники, инженеров, аспирантов и студентов.

УДК 629.78

ББК 39.6

*Материалы сборника представлены
в авторской редакции*

Ответственный редактор

Р.П. Симоньянец

© Авторы материалов

© АО «ВПК «НПО машиностроения»

© МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Аэрокосмический факультет, 2020

ISBN 978-5-7038-5217-0

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	9
Пленарное заседание и круглые столы (Обзор выступлений)	
<i>Пленарное заседание</i>	11
<i>Emri Igor</i>	
Круглый стол № 1. Научно-ориентированные инновации: ворота в процветающее общество	28
<i>Griethe Wolfgang</i>	
Круглый стол № 2. Лазерная связь – инновационная технология управления движением летательных аппаратов	33
<i>Trojer Jonas</i>	
Круглый стол № 3. Оптимизация конструкции летательного аппарата для достижения высших результатов (Победа на крыльях Челомея)	38
 Секция № 1. Проблемы проектирования аэрокосмических систем	
44	
<i>Горский В.В., Ковальский М.Г., Реш В.Г.</i>	
Определение абляционных свойств УУКМ на базе анализа результатов экспериментов в струе продуктов сгорания ЖРД	45
<i>Горский В.В., Дмитриева А.А.</i>	
Расчетно-экспериментальное исследование гетерогенного окисления углерод-углеродного композиционного материала в воздушной среде	47
<i>Кудинов А.С., Юрченко И.И., Клименко А.Г., Ольховская В.В.</i>	
Двигательные установки космических аппаратов формата «кубсат»	49
<i>Гришко Д.А., Баранов А.А.</i>	
Топливо-энергетический анализ космического аппарата для увода крупных объектов космического мусора	55
<i>Щеглов Г.А., Борзенков М.А., Каменев Н.Д., Стогний М.В.</i>	
Компоновочные схемы космических аппаратов для увода крупногабаритных объектов космического мусора	57
<i>Щеглов Г.А., Тютюнник Н.Н., Салиев Е.Р.</i>	
Концепция МКА на базе открытой модульной архитектуры	59
<i>Дорогов А.А., Маслов А.И., Шалыга С.В., Бабашов В.Г.</i>	
Современные композиционные материалы и технологии их изготовления для элементов конструкций высокоскоростных летательных аппаратов	61

<i>Зверев А.В., Ильясов М.Ф., Мошнеев А.А.</i> Обеспечение стабильности геометрических характеристик рабочей поверхности вторичного зеркала телескопа Т-170М проекта «Спектр-УФ» ..	64
<i>Агафонов К.В.</i> Алгоритм поиска и прогнозирование воздействия скрытых дефектов материалов силовых металлоконструкций	65
<i>Тузиков С.А., Курбанов Я.М.</i> Разработка проектного облика беспилотного летательного аппарата для исследования Марса	67
<i>Акилин В.И., Смирнов А.А., Денисов С.Ю.</i> Технологические методы повышения точностных параметров прецизионных маятниковых акселерометров	68
<i>Федотов Д.А., Скворцов К.Г.</i> Формирование отверстий и резьбы в композиционном материале методом прокалывания	70
Секция № 2. Динамика и прочность конструкций	73
<i>Маневич Л.И., Смирнов В.В., Королева И.П., Кеворков С.С., Хамидуллин Р.К.</i> Вынужденные колебания системы в режиме «акустического вакуума»	74
<i>Emri I., Aulova A.</i> High performance composites in aerospace applications and their structural health monitoring using artificial neural networks	75
<i>Королева И.П., Маневич Л.И.</i> Динамика дискретной двумерной мембраны без предварительного натяжения	81
<i>Реш Г.Ф., Иванов М.Ю.</i> Изучение динамического эффекта естественной пространственной адаптации гравитационно-капиллярного разделителя газовых и жидких сред	82
<i>Резник С.В., Абрамова Е.Н.</i> Прогнозирование теплового режима надувного тормозного устройства малого космического аппарата	84
<i>Думанский А.М., Лю Хао</i> Прогнозирование и расчет анизотропии механических свойств однонаправленного углепластика при скоростном нагружении	86
<i>Дергачев С.А.</i> Математическое моделирование гидродинамических нагрузок методом вихревых петель	89

<i>Марчевский И.К.</i> Новые расчетные схемы для решения граничных интегральных уравнений в вихревых методах вычислительной гидродинамики	91
<i>Грибков В.А., Дородный Н.С.</i> Расширение области применения метода Фурье на задачи о колебаниях тяжелой жидкости в полостях неканонической формы	93
<i>Грибков В.А., Жашуев А.Э., Полубарьев И.Н., Хамидуллин Р.К.</i> Неосесимметричные колебания баковой конструкции, частично заполненной жидкостью	95
<i>Грибков В.А., Гордин Я.Д.</i> Современные методики решения нелинейных задач устойчивости маятниковых систем	97
<i>Луценко А.Ю., Назарова Д.К., Гребенева Ю.В.</i> Аэродинамические характеристики эллиптических и комбинированных оболочек при круговом обтекании в дозвуковом потоке	99
Секция № 3. Динамика движения и системы управления..... 101	
<i>Зубов Н.Е., Лапин А.В.</i> Реализация в среде Matlab аналитических алгоритмов модального управления по состоянию и выходу	102
<i>Некрасов И.В.</i> Особенности построения производственных информационно-управляющих систем на предприятиях ракетно-космической отрасли	104
<i>Георгиев А.Ф., Каишфутдинов Б.Д.</i> Методика оценки влияния проектных параметров системы автоматического управления на устойчивость в потоке упругого летательного аппарата	110
<i>Симоньянц Р.П., Аверьянов П.В.</i> Синтез алгоритмов управления ориентацией и стабилизации космического аппарата без применения датчика угловой скорости	112
<i>Лукьянов В.В., Ибрахим М.А.</i> Алгоритмы и конфигурация системы ориентации подвижных объектов на МЭМС датчиках	115
<i>Пахомов Т.К.</i> Разработка системы стабилизации и ориентации для сверхмалого космического аппарата	117
<i>Симоньянц Р.П., Тарасов В.А.</i> Исследование проблемы «перевернутой ориентации» в релейной системе стабилизации КА с нелинейными датчиками	118

<i>Симоньянц Р.П., Пилипчук С.В., Шевченко В.В., Булавкин В.Н., Болотских А.А.</i> О применении принципа динамического подобию в проектировании стенда физического моделирования процессов управления ориентацией и стабилизации космического аппарата	121
<i>Симоньянц Р.П., Булавкин В.Н.</i> Метод точечных отображений в исследовании автоколебаний релейной системы стабилизации с учётом постоянного возмущения и запаздываний исполнительных органов	123
<i>Симоньянц Р.П., Худайбергенов Б.Р.</i> Устойчивость релейной динамической системы с нелинейными датчиками и запаздыванием при действии постоянного возмущения	125
<i>Заварзин В.И., Белокуров Е.А.</i> Оценка качества изображения светосильных двухзеркальных апланатических объективов с асферическими поверхностями	127
<i>Заварзин В.И., Лотов А.И.</i> Расчет зеркально-линзового объектива с зеркалом Манжена для контроля космического пространства	131
<i>Заварзин В.И., Рязанкин Н.С.</i> Выбор материалов для исправления хроматизма положения и минимизации вторичного спектра в среднем ИК-диапазоне	132
<i>Симоньянц Р.П., Аверьянов П.В., Авдяков Д.А., Пилипчук С.В., Юхновец И.В., Худайбергенов Б.Р., Булавкин В.Н.</i> Режимы релейного управления ориентацией космического аппарата без применения датчиков угловой скорости	134
Секция № 4. Прикладные задачи математического моделирования	137
<i>Колготин А.В.</i> Оценка достоверности мониторинга аэрозольных загрязнений в атмосфере путем сравнения результатов обработки данных лидарного зондирования и локального забора проб	138
<i>Соколов А.П.</i> Высокоточное моделирование движения космических аппаратов	140
<i>Сулимов А.В., Шкапов П.М., Сулимов В.Д.</i> Математическое моделирование и коррекция параметров жидкостной ракеты с использованием гибридных алгоритмов глобальной оптимизации	142
<i>Алексеева М.М., Брыков Н.А., Вихрова И.А.</i> Особенности численного моделирования высокоскоростных летательных аппаратов	147

<i>Маневич Л.И., Ковалева М.А.</i> Нелинейная колебательная динамика параметрического маятника	149
<i>Луценко А.Ю., Криушин В.А.</i> Численное исследование эжекционных свойств струи, истекающей в затопленное пространство	150
<i>Луценко А.Ю., Скворцова Н.А.</i> Определение аэродинамических характеристик тонкостенных оболочек при сверхзвуковых скоростях с помощью метода Ньютона	152
<i>Луценко А.Ю., Сидоров И.А.</i> Влияние системы слива пограничного слоя на дроссельную характеристику сверхзвукового воздухозаборного устройства	154
<i>Варениов В.В.</i> Методы определения минимальной удерживающей силы при наличии трения скольжения	155
<i>Заварзин В.И., Филонова П.А.</i> Методика определения исходных данных для построения стохастической математической модели изменения фазовых координат траектории полёта воздушного объекта	156
<i>Заварзин В.И., Каледин С.Б., Якубовский С.В.</i> Исследование влияния апертуры в форме снежинки Коха на дифракцию Фраунгофера в оптических системах	158
<i>Быков Н.В., Шестаков И.Е.</i> Влияние уширения газового ресивера на баллистические характеристики одноступенчатых установок на сжатом газе	160
Секция № 5. Информационные системы и технологии	162
<i>Соколов А.П.</i> Графоориентированная разработка масштабируемых и сопровождаемых вычислительных библиотек для систем автоматизированного проектирования сложных технических объектов.....	163
<i>Лукашин П.С., Щеглов Г.А., Березовский А.В.</i> Использование открытого пакета Code Aster для решения задач виброакустики и выбора рациональных параметров эксперимента	164
<i>Котенев В.П., Пучков А.С., Сапожников Д.А., Тонких Е.Г.</i> Моделирование сверхзвукового пространственного обтекания затупленного конуса в широком диапазоне чисел Маха и углов полураствора конуса	165
<i>Котенев В.П., Тонких Е.Г., Сапожников Д.А., Пучков А.С.</i> Восстановление давления в возмущенной области около затупленного конуса.....	166

<i>Котенев В.П., Сапожников Д.А., Козырев Н.М.</i> Восстановление параметров обтекания в ударном слое около параболоида средствами анализа данных.....	168
<i>Булгаков В.Н., Сапожников Д.А., Рацлав Р.А., Козырев Н.М.</i> Моделирование нейронных сетей для классификации поверхностей и восстановления коэффициентов канонических уравнений для последующего расчёта давления	170
<i>Николаев А.А., Ермолов А.С., Юдин А.Е., Шерминская А.А.</i> Разработка технологии обеспечения выполнения требований надёжности специального программного обеспечения в части показателя вероятности безотказной работы на этапах разработки и испытаний	172
<i>Миронов С.В., Николаев А.А., Плотников В.А.</i> Опыт проектирования специализированных АСУ с учётом особенностей картографической информации и пространственных данных.....	174
<i>Майданов И.С., Смелов С.А., Гадолина И.В.</i> Методы моделирования случайного воздействия на элементы аэрокосмических объектов в задачах оценки качества	175
Секция № 6. Вопросы экономики и менеджмента	177
<i>Белоносов К.Ю., Терентьева З.С., Ляхович Д.Г.</i> Модульная организационная структура предприятия: особенности и функциональная схема.....	178
<i>Николаев А.А., Николаева Н.С.</i> Расчет совокупной стоимости владения металлообрабатывающим оборудованием и его применение при выборе закупаемого оборудования ...	180
<i>Бадиков Г.А., Мазурин Э.Б., Гончаров К.Н.</i> Моделирование затрат на запуск многоразовых ракет-носителей тяжелого и сверхтяжелого классов	182
<i>Бадиков Г.А., Мазурин Э.Б., Хамуков Р.М.</i> Модель затрат на проведение экспериментов на МКС.....	185
<i>Бадиков Г.А., Малынов А.П.</i> Моделирование затрат на основные этапы лунной программы.....	187
<i>Бадиков Г.А., Лаптева М.С.</i> Сравнительное моделирование затрат жизненного цикла систем обеспечения космического туризма	189
<i>Щеглов Г.А., Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н.</i> Экономическая модель МКА на базе открытой модульной архитектуры	192
<i>Юсуфова О.М.</i> Роль НИОКР при переходе на контракты полного жизненного цикла	194
Сведения об авторах	196

ПРЕДИСЛОВИЕ

28 мая 2019 года АО «ВПК «НПО машиностроения» совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана провели Международную молодежную научно-техническую конференцию «Аэрокосмические технологии», посвященную 105-летию со дня рождения Генерального конструктора ракетно-космической техники, дважды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской и трёх Государственных премий СССР, академика В.Н. Челомея. Её цель – смотр достижений молодых учёных, специалистов и студентов (в соавторстве с их научными руководителями) в развитии творческого потенциала научно-технической школы академика В.Н. Челомея.

Успехи ракетно-космической отрасли во многом определяются тем вкладом в её развитие, который внесла научно-инженерная школа академика В.Н. Челомея. Школа жива и продолжает развиваться, о чём свидетельствуют впечатляющие достижения АО «ВПК «НПО машиностроения» и других организаций, деятельность которых связана с именем В.Н. Челомея. Неоценима роль НПО машиностроения в обеспечении национальной безопасности. Организация создана под руководством В.Н. Челомея в 1944 году. 75 лет её плодотворной деятельности дали Отечеству рекордное количество непревзойдённых образцов ракетно-космической техники. Это единственное в мире аэрокосмическое предприятие, добившееся высочайшего международного авторитета в трёх направлениях деятельности: - высокоэффективные комплексы крылатого ракетного оружия; - баллистические ракеты и ракеты-носители; - системы управляемых космических аппаратов, автоматических и пилотируемых космических станций.

Велико значение МГТУ им. Н.Э. Баумана в решении проблем научного и кадрового обеспечения деятельности АО «ВПК «НПО машиностроения» и всей ракетно-космической отрасли. В 1960 году академик В.Н. Челомей основал в МГТУ (тогда МВТУ) кафедру «Аэрокосмические системы». В 1985 году при НПО машиностроения был создан и успешно функционирует в настоящее время Аэрокосмический факультет МГТУ им. Н.Э. Баумана (АКФ). Многочисленные выпускники МГТУ успешно трудятся на предприятии, внося значительный вклад в его развитие.

Конференция проходила в Наугограде Российской Федерации, городе Реутове, в Деловом комплексе «Мир». Организационный комитет возглавили Генеральный директор, Генеральный конструктор АО «ВПК «НПО машиностроения», доктор технических наук, профессор Александр Георгиевич Леонов и ректор Московского государственно-

го технического университета имени Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор Анатолий Александрович Александров.

В состав научного и организационного комитетов вошли: Барминова О.А., Бадиков Г.А., Бондаренко Л.А., Бунак В.А., Бурганский А.И., Горский В.В., Демидов В.И., Дегтярев А.О., Драгун Д.К., Думанский А.М., Жулябин Д.Н., Журавлев Е.И., Зайцев С.Э., Зимин С.Н., Зубов Н.Е., Калугин В.Т.*, Колготин А.В., Котенев В.П., Куранов Е.Г.*, Левицкий М.Ю., Мартынов В.И., Маслов А.И., Ничушкина Т.Н., Плавник Г.Г., Прохорчук Ю.А., Резник С.В., Реш Г.Ф., Симоньянц Р.П.*, Скоробатюк В.В., Фомичев А.В., Хромушкин А.В.*, Широков П.А., Щеглов Г.А., Emri I. (Словения), W.Griethe (Германия). Заместители сопредседателей Оргкомитета в приведённом списке отмечены символом (*). Оргкомитету большую помощь оказала молодёжная бригада волонтеров, которую возглавили Оксана Белая, Дарья Милехина и Валерий Тарасов.

В соответствии с программой конференции состоялись: одно пленарное, шесть секционных заседаний и три проблемные беседы в форме круглых столов. Приняли участие в пленарном заседании 120 человек, в секционных – 168, в беседах трёх круглых столов – 66. От МГТУ им. Н.Э. Баумана подали заявку на участие 70 человек, фактически приняли участие – 65. От АО «ВПК «НПО машиностроения» зарегистрировано 19 участников. Концерн «Моринформсистема-Агат» – 6 человек, Балтийский государственный технический университет имени Д.Ф. Устинова «ВОЕНМЕХ» – 3 участника. Среди участников конференции были также представители Института проблем управления РАН, Самарского университета имени академика С.П. Королёва, филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в Севастополе и ряда других организаций.

Среди иностранных участников: академик Академии Наук и Искусств Словении, доктор наук, профессор Игорь Эмри (Slovenian Academy of Sciences and Arts, academician Igor Emri); руководитель компании «G2Aerospace» доктор наук, профессор Вольфганг Грите (Wolfgang Griethe, Germany); студент Люблянского Университета Словении Jonas Trojer; выпускница Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, профессор Люблянского Университета Словении, доктор наук Александра Аулова; аспиранты Ибрахим Муханнад из Сирии и Лю Хао из Китая.

Завершилась конференция заседанием оргкомитета, на котором руководители секций подвели итоги. Было отмечено, что представленные на конференции доклады вызвали большой интерес и активно обсуждались. Семнадцать лучших работ рекомендованы для публикации в сетевом научном издании МГТУ им. Н.Э. Баумана «Инженерный журнал: наука и инновации».



ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ (Обзор выступлений)

*«В развитии ракетно-космической техники
мы наблюдаем качественные изменения...»*

А.Г. Леонов, 28.05.2019

Открыл пленарное заседание ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана
Анатолий Александрович Александров:



А.Г. Леонов



А.А. Александров

– Уважаемые коллеги, разрешите всех нас поздравить с началом работы конференции! Конференция приурочена к юбилею Владимира Николаевича Челомея, но к этому юбилею приурочено и еще одно событие, которое отозвалось в сердце каждого из нас: Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин вручил Александру Георгиевичу Леонову Звезду Героя Труда России!

(Под аплодисменты зала ректор вручил А.Г. Леонову цветы).

К участникам заседания со вступительным словом обратился **Александр Георгиевич Леонов**:

– Дорогие друзья! Большое вам спасибо!

В этом году мы проводим уже третью научно-техническую конференцию, посвященную 105-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея. Первая была в январе и прошла в рамках Академических чтений по космонавтике. В апреле провели конференцию по тематике специального назначения. И вот теперь – Международная молодежная конференция. Накануне юбилея Владимира Николаевича уместно вспомнить его слова, сказанные в 1982 году в обращении к участникам научно-технической конференции молодых специалистов Центрального конструкторского бюро машиностроения: *«В нашем деле особенно важно обеспечить преемственность, беречь и укреплять наши хорошие традиции и достигнутые успехи. Одним из элементов воспитания молодёжи являются научно-технические конференции, подобные этой»*.

Слова, сказанные В.Н. Челомеем в те годы, полностью можно отнести и к нашей конференции. Здорово, что мы находимся на правильном пути. Конференции – форма обмена знаниями, форма развития нашей молодёжи – это чрезвычайно важный элемент работы. Приятно отметить, что очень активное участие в конференции принимают специалисты многих предприятий, а активность молодых специалистов НПО машиностроения из года в год растёт.

Хочу коснуться научно-технического аспекта: как сегодня развивается наша наука и техника. Анатолий Александрович, возможно, помнит, как 5 – 7 лет назад, выступая на Учёном Совете МГТУ им. Н.Э. Баумана, я говорил о революционном развитии ракетно-космической техники в середине прошлого столетия. Всё самое важное, самое главное было придумано в период с 1957 по 1970 годы. Дальнейший прогресс был не столь явным.

Но сегодня я несколько иначе оцениваю этот процесс. Конечно, говорить о новом революционном скачке было бы преждевременно, но *в развитии ракетно-космической техники мы наблюдаем качественные изменения*. В атмосферных полётах – это гиперзвук. Как тенденция он известен давно. Но в реальную плоскость он переходит только в наши дни. Это колоссально развивает все направления, связанные с теорией полёта, аэродинамикой, динамикой конструкций, материаловедением. Создаются различные принципиально новые конструкционные материалы, принимаются связанные с этим новые проектно-конструкторские решения.

В космической области всегда была понятная тенденция снижения массы спутников. Но сегодня перешли не просто на малые, микро и нано размерные аппараты, а создаются специальные системы, насчитывающие тысячи спутников. В их разработку включаются многие страны и организации, в том числе и частные компании. То, что раньше было прерогативой исключительно государства, получает очень широкое распространение.

Это позволяет говорить о качественном изменении тенденций развития ракетно-космической техники. Я думаю, что в рамках нашей конференции, в докладах, которые мы услышим, эти направления и проблемы, их конкретные особенности будут отражены.

Не могу не воспользоваться случаем и в присутствии ректора, Анатолия Александровича Александрова, не сказать о том, что меня очень радует, как развиваются наши отношения с Университетом. Я сейчас не как заведующий кафедрой МГТУ имени Н.Э. Баумана говорю, а как руководитель корпорации «НПО машиностроения».

Они успешно развиваются абсолютно во всех направлениях. Самое первое, и это понятно, – учебное. Сегодня мы научились делать и осознанно решаем конкретные задачи так, чтобы познавательный процесс был бы максимально активизирован, проходил оптимально. В качестве примера можно привести реконструкцию кафедры и нашего Аэрокосмического факультета.

Много у нас и научных направлений, которые мы реализуем совместно. Так, успешно выполняются исследования в космическом направлении. Наши работы по созданию нового спутника обязательно будут и дальше развиваться. Только название у спутника, как мы с Анатолием Александровичем решили, будет иным.

Хочу пожелать нашей конференции успеха и интересных, содержательных докладов!





Затем со словами приветствия к участникам конференции обратился *Анатолий Александрович Александров*:

— Уважаемые коллеги и друзья, а также юные коллеги, которые сегодня составляют основную часть участников конференции! Это замечательно, что в зале нет свободных мест. Я рад приветствовать такое количество молодых энергичных, целеустремленных людей — наше будущее!

Александр Георгиевич сказал, что ракетная техника после периода революционного взлёта развивалась эволюционно. Да, так оно обычно и бывает. Вспомним кошмарные 90-ые годы, когда, казалось бы, мы всё потеряли. Но Россия, как бессмертная птица Феникс, возродилась из пепла и праха! Да, самые опасные для нас времена — это когда мы уверенно стоим на ногах и гордо смотрим вперёд! Многим нашим зарубежным партнёрам это очень не нравится. Тогда они пытаются нас остановить, уничтожить. А для того, чтобы такого не случилось, должны быть серьёзные люди, которые умеют сказать, что с Россией нужно разговаривать вежливо. Очень много таких людей работает здесь, на этом предприятии, в этом городе.

Но возможно и другое объяснение: идёт накопление знаний, накопление компетенций для следующего революционного рывка. Именно такое время сейчас и наступает. То, что Александр Георгиевич говорил про гиперзвук, вчера еще было мечтой. Понимали, конечно, что такое в теории может быть, но не думали, что это может произойти и в реальности. Сегодня — это реалии. Но реальность такова, что и дальше у нас должны быть очень серьёзные, большие подвижки в этой области. Как говорил наш Президент, сегодня такой техникой владеем только одни мы, а завтра ею смогут владеть многие. Поэтому нам надо

уходить далеко вперёд, чтобы никому дурные мысли и в голову не приходили бы.

А это значит, что необходимо напряженно трудиться, что должно быть воспитано новое поколение. Без этого завтрашнего дня не будет. В нашей совместной работе мы прекрасно понимаем: завтрашний день определять будут совсем молодые люди, многие из которых сидят в этом зале. Наша забота – их подготовить к завтрашнему дню, к той жизни, когда они на свои плечи возьмут всю ту ответственность, которая сегодня лежит на нас. Я горжусь, что у нас это получается, что у нас до этого доходят руки! Если кто-то, когда-то мог оправдаться: некогда нам заниматься молодёжью! То сейчас этим не оправдаешься. Ректору-то, понятно, чем ещё, как не молодёжью, заниматься. Но когда такой матёрый генеральный конструктор, Герой России занимается сплеча молодёжью – вот это сильно!

Вы посмотрите, как подходы-то изменились. Конечно, появились и возможности. Без возможности ничего не получится. Но, самое главное, – воля и понимание. Посмотрите, как сейчас выглядит Аэрокосмический факультет – игрушка! Таких институтов не найдёте! А как выглядит кафедра СМ-2! Если кто-то ещё и говорит, что наука делается в подвалах и на чердаках, то сегодня этому уже никто не верит. Уникальную передовую технику люди должны создавать в прекрасных условиях. Людям должно быть комфортно и престижно работать в таких условиях. Это должен быть храм науки и образования, что у нас и по форме, и по содержанию хорошо получается.

Труд наших коллег на этом предприятии очень непростой, тяжёлый. Без самоотверженности здесь вряд ли достигнешь больших результатов. Мне кажется, что не каждый молодой человек решится на такую работу. Но нам надо его привлекать, показывать все прелести этого труда. А что может быть для молодого человека более привлекательным, чем чувство удовлетворения от своего труда, чем самореализация в самых сложных областях науки и техники. Именно такие молодые люди и будут определять счастье завтрашнего дня. Мы всей своей деятельностью должны показывать, что путь, который они выбрали вместе с нами, правильный, что они будут счастливыми людьми в этой жизни. Я хочу пожелать успеха конференции, успеха молодым людям, которые совершают первые шаги в научной деятельности!

Заканчивая своё выступление, я хочу ещё раз сказать Александру Георгиевичу, что бауманка очень гордится Звездой Героя, которая горит на его груди! Может быть, не все знают, что Александр Георгиевич оканчивал не МГТУ имени Н.Э. Баумана, а МАИ. Но он

бауманец до мозга костей, пророс сквозь нас, и мы его никому не отдадим.

Александр Георгиевич, мы гордимся Вашей Звездой, гордимся Вами, гордимся тем, что мы с Вами бауманцы, и не советы друг другу даём, как нужно готовить специалистов завтрашнего дня, а мы делаем это вместе.

Спасибо Вам!



Участников пленарного заседания приветствовал руководитель научно-учебного комплекса, декан факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор *Владимир Тимофеевич Калугин*:



– Уважаемые коллеги, хочу всех поздравить, во-первых, с открытием конференции, и, во-вторых, с тем, что Александр Георгиевич стал Героем Труда России! Это очень важно для всех нас, для Университета и для факультета Специальное машиностроение.

У нашего времени есть несколько отличительных признаков:

1. Молодёжь начинает заниматься наукой, а люди старшего поколения передают им соответствующие знания. Это очень важный

процесс настоящего времени. Ещё в начале века этого не было. Как говорит наш ректор, научные знания передаются «из клювика в клювик», по-иному не получается.

2. Как было сказано в недавнем выступлении Рагозина, планируется создание специальных научно-образовательных кластеров, а у нас с вами они уже есть и давно успешно работают. Это такая система подготовки специалистов, в которой университет и промышленное предприятие органически друг с другом связаны: преподаватели университета работают на предприятии, а опытные специалисты предприятия трудятся в университете.

При этом мы совместно разрабатываем учебные программы, по которым готовим специалистов для работы на предприятии. Важно, что и студенты университета работают на предприятии. Предприятие само формирует базу знаний своего будущего сотрудника.

3. Предприятие очень существенно помогает университету в создании учебно-лабораторной базы, в её оснащении самым передовым оборудованием. Анатолий Александрович уже сказал, как замечательно были оснащены кафедра Аэрокосмических систем и Аэрокосмический факультет.

4. Приятно наблюдать, как совсем молодые люди, студенты, накапливая знания, становятся квалифицированными специалистами. Затем выпускник становится аспирантом и на одном из наших многочисленных диссертационных советов защищается, становясь учёным.

Только за последние три месяца диссертационный совет, где я председатель, четыре молодых человека до 32 лет стали кандидатами наук. Это говорит о том, что молодёжь стремится в науку. Молодые люди понимают, что без начальной ступени кандидата наук – дальнейшая судьба не получится, потому, что мир уже требует высокого уровня знаний. А ребята работают очень серьёзно.

Конференция является одним из этапов общественного признания результатов исследований, проводимых у нас в университете, у вас на предприятии и на многих других предприятиях, откуда к вам приезжают коллеги для обмена опытом. Я желаю вам успешной работы и на секциях нашей конференции, и после неё, так, чтобы ваши исследования не остались формальностью, а были успешно продолжены, выливаясь в диссертационные работы.

Со вступительным словом к участникам заседания обратился иностранный член оргкомитета конференции, академик Словенской Академии наук и искусств, доктор PhD, профессор *Игорь Эмри (Igor Emri)*:



– Дамы и господа, уважаемые коллеги! Я благодарен руководителю корпорации профессору Леонову Александру Георгиевичу и ректору МГТУ имени Н.Э. Баумана, профессору Александрову Анатолию Александровичу, за приглашение. Я считаю, что молодежная конференция – очень важное событие. Ведь в руках молодых будущее.

Бауманский, безусловно, – один из самых элитных университетов мира. Его историческая роль

в мире ещё не полностью раскрыта и оценена. Велик вклад университета в развитие аэрокосмических технологий и в развитие гражданских направлений. Гражданские инновации, внедрение новых знаний – это то, что востребовано в России. И вы в этой сфере лидируете.

Я очень рад, что меня пригласили организовать на этой конференции Круглый стол №1 *«Научно-ориентированные инновации: ворота в процветающее будущее»* и обсудить современные проблемы, связанные с этим направлением. Круглый стол будет посвящён внедрению научных знаний в инновации. Только такими инновациями можно реализовать скачок экономического развития, подобный энергетическому переходу в квантовой физике. Скачки в инновации возможны лишь в том случае, если в них внедряются новые знания.

У вас таких знаний много. Нужно изучить природу инноваций. На круглом столе я изложу несколько основных принципов. Потом на примерах покажу, как это можно сделать. Я с гордостью могу сказать, что в Словении, в моей научной группе было много аспирантов из МГТУ им. Н.Э. Баумана, большинство которых – выпускники Аэрокосмического факультета. Все они хорошо усвоили эти принципы, выполнили инновационные научные работы и успешно защитили диссертации в Европе, в Люблянском Университете. Приглашаю на круглый стол.

Ведущий заседания огласил приветствие, которое адресовал участникам конференции Почетный Генеральный директор – Почетный Генеральный конструктор АО «ВПК «НПО машиностроения», профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана **Герберт Александрович Ефремов**:

«Уважаемые специалисты и ученые АО «ВПК «НПО машиностроения», студенты и сотрудники МГТУ им. Н.Э. Баумана, представители других организаций. От всей души приветствую всех, собравшихся в Деловом комплексе Мир, с началом работы этой важнейшей для нас конференции.

Жизнь меняется. В современных условиях, осознавая необходимость опоры России на свои силы, на собственную промышленность, появляется острая необходимость в квалифицированных инженерных кадрах. Это проявляется даже в том, что Корпорация участвует в подготовке инженеров со школьной скамьи. Не говоря уже об учебе студентов по целевому набору в МГТУ им. Н.Э. Баумана и стажировке у нас на рабочем месте.

Важно отметить, что разработки АО «ВПК «НПО машиностроения» исторически отличались высоким уровнем сложности научно-технических решений. Для выполнения задач, которые ставит перед нами государство сегодня, также необходимы передовые конструкторские решения, методы расчетов и испытаний, новые материалы, современные математические программы. Поэтому нам крайне интересны разработки, которые будут представлены на конференции.

Международная кооперация, в которой участвует АО «ВПК «НПО машиностроения», подразумевает и расширение связей на научно-образовательном уровне. Поэтому хочется пожелать и расширения международного охвата нынешней конференции, с привлечением ученых, прежде всего Индии и Китая.

От всей души желаю по итогам конференции углубления знаний участников в их индивидуальном научном и коллективном инженерном творчестве, расширения деловых контактов. Рад видеть наиболее талантливых молодых ученых и специалистов в рядах сотрудников нашей Корпорации.

Успешной вам работы!».



Декан Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук, доцент *Ростислав Петрович Симоньянц* и первый заместитель заведующего кафедрой Аэрокосмические системы (СМ-2) доктор технических наук, профессор *Георгий Александрович Щеглов* совместно выступили на пленарном заседании с докладом «О научной деятельности студентов Аэрокосмического факультета».



– Научная деятельность студентов Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, 35-летие которого мы отметим в 2020 году, – начал своё выступление Р.П. Симоньянц, – всегда была важнейшей составляющей учебного процесса. И не секрет, что питательная среда этой деятельности – высочайший научно-технический потенциал базового предприятия – АО «ВПК «НПО машиностроения».

Непрерывная научно-производственная практика, которую мы организовали на предприятии, её методическая основа и сами разработки, были удостоены премии Президента России за 2002 год в области образования. Эта практика способствует быстрому становлению профессионализма студентов. Ежегодные научные конференции студентов, в том числе и раз в 5 лет международные научно-технические конференции «Аэрокосмические технологии», неременный элемент этой методики, составная часть нашей образовательной стратегии.

Что дает такая стратегия, каков результат её применения? За этот период мы сумели подготовить 38 кандидатов и докторов наук (для справки: план приема на 1-й курс факультета 85 человек). Более 300 выпускников факультета работают в корпорации на постоянной основе, 70 из них – занимают руководящие посты. Немало учёных из числа выпускников нашего факультета сегодня принимают участие в конференции. Среди них доктор физико-математических наук Алексей Викторович Колготин, доктор технических наук Сергей Эдуардович Зайцев, доктор PhD Александра Сергеевна Аулова, кандидаты технических наук Андрей Павлович Соколов, Иван Васильевич Некрасов и

Сергей Александрович Дергачёв, кандидаты физико-математических наук Михаил Юрьевич Иванов и Александр Павлович Соколов.

Где наши учёные трудятся? С.Э. Зайцев – Главный конструктор по космическому направлению АО «ВПК «НПО машиностроения», А.В. Колготин, М.Ю. Иванов и С.А. Дергачёв также работают в этой корпорации. В Центральной Европе, в Словении, профессором Люблянского Университета трудится А.С. Аулова. В МГТУ им. Н.Э. Баумана доцентом работает А.П. Соколов, а его брат Андрей – доцент в МГУ им. М.В. Ломоносова. И.В. Некрасов – старший научный сотрудник Института Проблем Управления Российской Академии Наук.



На фото: В.В. Витер, А.В. Колготин, И.К. Краснов. 23.05.1995

Все они получили мощный заряд творческой энергии на Аэрокосмическом факультете, а боевое крещение – на научных конференциях, которые мы с предприятием проводим ежегодно. Вот только один пример. На фотографии выше – студенческая научная конференция 1995 года. Студент 3 курса Алексей Колготин (в центре) отвечает на вопросы первого заместителя Генерального конструктора Виктора Васильевича Витера (слева) по своей научной работе, выполненной под руководством кандидата технических наук, доцента Игоря Константиновича Краснова (справа). Тема работы – «Математические методы сетевого планирования в задачах управления проектами». Виктор Васильевич горячо поддержал работу студента, отметил её актуальность для предприятия.

Сейчас А.В. Колготин – доктор физико-математических наук, успешно руководит на предприятии службой, занимающейся вопросами, подобными тем, что рассматривались в его студенческой научной работе. Сегодня на конференции Алексей Викторович выступит с док-

ладом по другой актуальной задаче, составившей основу его докторской диссертации: «Оценка достоверности мониторинга аэрозольных загрязнений в атмосфере путем сравнения результатов обработки данных лидарного зондирования и локального забора проб».

Замечательных результатов в научной работе добились и нынешние студенты Аэрокосмического факультета. Сегодня выступают с докладами стипендиаты Президента Российской Федерации: Болотских Антон, Булавкин Владимир, Каменев Никита, Козырев Никита, Салиев Евгений, Стогний Михаил, Тарасов Валерий, Тютюнник Николай, Юхновец Илья; стипендиаты Правительства Российской Федерации: Полубарьев Игорь, Худайберганов Борислав. Жашуев Алим.

Большинство из представленных на конференции научных работ выполнены студентами кафедры Аэрокосмические системы. Мощным двигателем студенческой науки служат договоры о выполнении НИР, заключаемые между предприятием и Университетом. Многие доклады студентов представляют результаты выполненных ими совместно с преподавателями кафедры хоздоговорных НИР. О направлениях научных исследований студентов кафедры СМ-2 подробнее расскажет Георгий Александрович Щеглов:



– Пространство научной деятельности кафедры «Аэрокосмические системы», 60-летие которой мы будем отмечать в 2020 году, многомерно, – сказал Г.А. Щеглов. Представим 3 основные оси этой деятельности:

Первая ось – идея Владимира Николаевича Челомея о том, что успехов следует добиваться в трёх средах – под водой, в атмосфере и в космосе. Наши студенты выполняют исследования, следуя этой идее.

Вторая ось – прогресс. Как сказал Александр Георгиевич, сейчас мы наблюдаем новую волну развития аэрокосмической техники, связанную с цифровизацией и появлением киберфизики. При этом помимо технических систем определяющую роль начинает играть программное обеспечение, искусственный интеллект, искусственный ра-

зум, когда программные средства в стоимости космического аппарата начинают доминировать.

Третья ось – квалификация. Нельзя сказать, что научная деятельность на Аэрокосмическом факультете ведётся только студентами. Искра творчества загорается, конечно, на студенческой скамье, но дальше она нас сопровождает всю жизнь, какую бы высокую квалификацию мы не получили. Поэтому авторами и соавторами работ, представленных на этой конференции, выступают также аспиранты и высококвалифицированные специалисты, как Университета, так и предприятия, в том числе и занимающие руководящие должности.

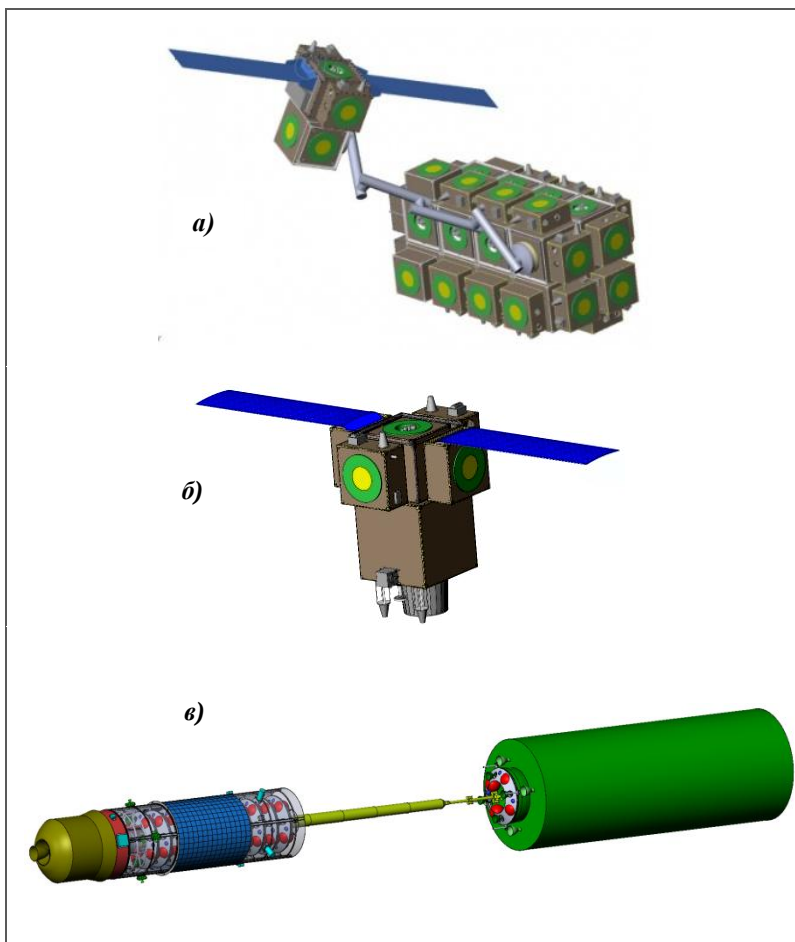
Тематический разброс работ широк, охватывает направления практически всех секций сегодняшней конференции. Прежде всего, нужно отметить работы, выполненные при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Индустриальным партнёром выступало АО «ВПК «НПО машиностроения». Ряд работ выполнен под эгидой Молодёжного космического центра НУК «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тематика части работ направлена на снижение массы и габаритов, потому, что современные космические аппараты – это не единичные изделия, а системы космических аппаратов. Недавно состоялся запуск первой части такой системы, насчитывающей 60 аппаратов. А планируются сотни, даже тысячи таких элементов. Чтобы такие системы не превратились в космический мусор, мешающий нам, их необходимо обслуживать. Наши студенты об этом задумываются, ищут новые пути решения проблем, связанных с обслуживанием космических аппаратов на орбите. Обслуживание – это предоставление спутнику различных услуг, например, коммунальных.

Часть студенческих работ посвящена созданию малых космических аппаратов модульной структуры (см. рисунок ниже). Сейчас во всём мире это наиболее актуальное направление – создание «Космического Лего». Это блоки, из которых мы могли бы собирать объект, как на Земле, так и на орбите. Они могут быть специально оборудованы для выполнения определённых работ по обслуживанию других космических аппаратов на орбите.

У нас также есть интересная работа по удалению крупногабаритных объектов космического мусора – отработанных ступеней ракет-носителей, разгонных блоков, спутников – всего того, что потенциально может стать источником мелкого космического мусора. Если верить прогнозу американских учёных, нарастающая лавина космического мусора может перекрыть дорогу в космос. Чтобы этого не произошло, наши студенты разрабатывают средства удаления.

Ведутся также совместные работы по заказу корпорации Тактическое ракетное вооружение. Под руководством профессора Олега Николаевича Тушева трудятся состоявшиеся молодые специалисты, аспиранты и защитившиеся кандидаты наук. Авторы объединили в единое целое задачи аэродинамики, теории колебаний и теории автоматического управления. В связи с увеличением скорости полёта, эти задачи становятся всё более актуальными. О результатах исследований сегодня будет доложено.



На рис.: а), б) - МКА на базе открытой модульной архитектуры;
в) КА для увода крупногабаритных объектов космического мусора;

Ещё одно направление работ кафедры – разработка нового поколения бессеточных методов вычислительной гидродинамики, отличающихся высокой скоростью расчёта. Речь идёт о дозвуковых течениях, где осталось много неисследованных вопросов, например, момент старта, когда скорость летательного аппарата ещё очень мала. Существенно продвинуться по этой теме позволила работа Сергея Александровича Дергачёва, который недавно защитил диссертацию. Его доклад вы также сможете услышать на этой конференции.

В своих работах мы учитываем самые современные тенденции в развитии программного обеспечения, в частности, программное обеспечение с открытым исходным кодом. Некоторые его называют бесплатным программным обеспечением, но это не совсем правильно. Верно, что это – программное обеспечение, находящееся в общественном пользовании. Оно также доступно, как доступна таблица умножения. Ведь никому не приходит в голову брать деньги за использование таблицы умножения.

Это – интеллектуальное общественное богатство. Оно накоплено в достаточном количестве и необходимо уметь им пользоваться. На нашей кафедре организован единственный в России центр компетенций в области свободного программного обеспечения. Один из докладов на конференции посвящён этой теме.

Ведутся на кафедре и некоторые инициативные научные исследования по дальнейшему развитию идей Владимира Николаевича Челомея в области теории колебаний, теории нелинейных динамики систем – обращенные маятники, парадоксальные механические явления. О новых результатах этих работ сегодня также будет доложено.

Р.П. Симоньянц:

– В 2018 году по заказу предприятия на кафедре проводилась ещё одна НИР в области нелинейной динамики управляемых систем, которая выполнялась, в основном, силами студентов. Как руководитель этой темы, могу сказать, что работать с нашими талантливыми студентами – огромное удовольствие. О своих достижениях в этой работе сегодня на заседании секции №3 «Динамика движения и системы управления» доложат студенты Владимир Булавкин, Сергей Пилипчук, Валерий Тарасов, Борислав Худайбергенов и Илья Юхновец.

Перейдём к международным связям факультета, которые впервые возникли на 1-й Международной научно-технической конференции «Аэрокосмические технологии» в 2004 году. На этой конференции мы познакомились с ярким представителем Словении, в то время заведующим кафедрой Люблянского Университета «Механика

полимерных материалов», профессором Калифорнийского Технологического Института США, академиком Словенской Академии Наук и Искусств *Игорем Эмри*.

С тех пор между Люблянским Университетом и МГТУ им. Н.Э. Баумана установились прочные дружеские отношения. К нам из Словении приезжали на стажировку и с докладами на конференциях как студенты, так и преподаватели. 14 наших студентов и 5 преподавателей прошли стажировку в Университете Любляны и в Институте Устойчивых Инновационных технологий, возглавляемом И. Эмри.

Окончили аспирантуру и защитили диссертацию доктора PhD 4 выпускника Аэрокосмического факультета. Из них трое успешно строят свою научную карьеру в России, продолжая плодотворно сотрудничать с академиком И. Эмри и другими своими коллегами в Центральной Европе. Одна из замечательных выпускниц нашего факультета, доктор PhD, профессор Люблянского Университета Словении Александра Аулова, на нашей конференции в соавторстве с И. Эмри сегодня выступит на секции №2 «Динамика и прочность».

В рамках нашей конференции студент Люблянского Университета Словении **Jonas Trojer** проведёт Круглый стол №3. Тема беседы: *«Оптимизация конструкции летательного аппарата для достижения высших результатов. (Победа на крыльях Челомея)»*. Команда студентов Словении, которую возглавлял Jonas, 12 апреля 2019 года на международных соревнованиях завоевала первое место. Эти соревнования ежегодно организует Американский Институт аэронавтики и астронавтики. В конкурсе участвовало более 100 университетов.

Студенты Словении спроектировали, изготовили из композиционных материалов и на соревнованиях в США запустили свою модель. В конструкции летательного аппарата по условиям соревнований использовалось изобретённое академиком В.Н. Челомеем крыло, раскрывающееся в полёте.

В работе Круглого стола №3 принимают участие представители Молодёжного космического центра МГТУ им. Н.Э. Баумана. состоятся выступления руководителей этого центра доктора технических наук, профессора *Веры Ивановны Майоровой* и кандидата технических наук, доцента *Виктора Витальевича Леонова*.



Заместитель председателя оргкомитета ММНТК-2019, кандидат технических наук, доцент *Евгений Геннадьевич Куранов* представил участникам заседания ещё одного иностранного участника: известный специалист из Германии в области лазерных технологий, доктор наук, профессор *Вольфганг Грите* (Wolfgang Griethe, G2Aerospace GmbH) проведет Круглый стол №2 на тему «*Лазерная связь – инновационная технология управления движением летательных аппаратов*».



Е.Г. Куранов



Wolfgang Griethe

- Хочу сказать, что в моей секции будут представлены вопросы лазерной связи, – сказал В. Грите. – Сегодня здесь говорилось о революционных технологиях в ракетно-космической технике. Лазерная связь – это именно такая технология, у неё много преимуществ по сравнению с радиосвязью. Я в беседе на круглом столе продемонстрирую, какие существуют преимущества применения лазерной связи, особенно в аэронавтике.



КРУГЛЫЙ СТОЛ №1

Игорь Эмри,

доктор наук, профессор, академик
Словенской Академии наук и искусств, Любляна

НАУЧНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИННОВАЦИИ: ВОРОТА В ПРОЦВЕТАЮЩЕЕ ОБЩЕСТВО

Igor Emri, doctor of science, professor, academician of the
Slovenian Academy of Sciences and Arts, Ljubljana
Research-based Innovation: A Gateway to Prosperous Society



The aim of this lecture is to motivate students and researchers to take a more active role in research-based innovation. The latter innovatively involves through research acquired knowledge that have not been used previously, into new technologies and products. Innovation-based research calls for a new environment known as an innovation community that brings together researchers and entrepreneurs and supports interdisciplinary and cross-sectoral co-operation needed to exploit the latest research achievements for the benefit of society. The lecture comprises:

(i) Concepts of research-based innovation developed by the Engineering and Technical Sciences Scientific Committee of Science Europe and published in February 2015 as “Opinion Paper on Empowering Researchers to Provide Societal value: Towards Innovation Communities that Leverage Excellence-focused Research”.

(<https://www.scienceeurope.org/scientific-committees/engineering/publications-of-the-engineering-committee/>)

(ii) Selected examples of breakthrough technologies in vibro-acoustics, fibre-spinning, membrane technology, and dental and orthopaedic implantology, by inventively utilizing knowledge in mechanics of time-dependent materials.

Проблемную беседу о научно-ориентированных инновационных технологиях в рамках ММНТК-2019 провёл учёный с мировым именем, академик Словенской Академии Наук и Искусств, доктор PhD, профессор Игорь Осипович Эмри. В числе участников беседы выпускница Аэрокосмического факультета (АКФ) МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор PhD, проф. Люблянского Университета (Словения) Александра Сергеевна Аулова; вице-президент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктор технич. наук, проф. МГТУ Дмитрий Константинович Драгун; доктор технич. наук, проф. МГТУ Александр Митрофанович Думанский; выпускник АКФ, кандидат физ.-мат. наук, доцент МГТУ Александр Павлович Соколов и сотрудник АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат физ.-мат. наук Леонид Сергеевич Точилов.

Большой интерес беседа вызвала у молодёжи. Активное участие в ней приняли: аспирант из Китая Лю Хао (Liu Hao), выпускники АКФ – молодые инженеры Валерий Шевченко, Сумбат Кеворков, Булат Кашфутдинов; студенты – Роман Ушаков, Степан Юрченко, Вадим Тлюкабиров (АКФ), Савва Голубицкий (факультет РК) и др. Всего в работе круглого стола приняло участие 22 человека.

В начале своей беседы профессор Эмри на примере деятельности возглавляемой им словенской научной школы раскрыл суть понятия «научно-ориентированные инновационные технологии». В аспирантуре Люблянского университета под руководством И. Эмри прошли научную подготовку и успешно защитили диссертации ряд выпускников Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана: Александра Аулова, Иван Сапрунов (кафедра ИУ-1 «Системы автоматического управления») и Марина Гергесова (кафедра ФН-11 «Вычислительная математика и математическая физика»). После защиты диссертации несколько лет они вели научную деятельность в Люблянском Университете Словении.

Сейчас Иван и Марина успешно работают в Москве, продолжая сотрудничать со своим словенским научным руководителем. На основе научных результатов выполненных ими исследований недавно был утверждён уже второй международный стандарт ISO.

А. Аулова рассказала о своём диссертационном исследовании и прикладных задачах внедрения научных результатов этих исследований в индустриальной сфере. В диссертации исследовались возможности использования нейронных сетей для моделирования механических свойств вязкоупругих материалов. Есть планы расширить эту об-

ласть в рамках нового проекта, который будет также учитывать влияние температуры на поведение полимерных композитных материалов. Также планируются работы по изучению возможности использования нейронных сетей для систем мониторинга структур из полимерных композиционных материалов.

Александра после защиты диссертации, выполненной в Люблянском университете, осталась работать на кафедре механики композиционных материалов, руководит исследованиями словенских студентов и продолжает начатые в рамках диссертации инновационные исследования. С участием Ауловой была выполнена инновационная разработка нового звукоизоляционного материала, характеристики которого на порядок лучше мировых стандартов.

Доклад профессора Эмри и выступление Ауловой вызвали большой интерес у слушателей. Было много вопросов разного плана – от сугубо научных деталей, до концептуально философских вопросов. Темы, затронутые докладчиками, вызвали дискуссию, которая продолжилась в кулуарах конференции. Участники круглого стола даже много позже его окончания охотно делились своими впечатлениями.

А.П. Соколов:

– Профессор представил интересные видеоматериалы экспериментальных исследований, проведённых им и его учениками. Среди объектов исследований были образцы функциональных материалов с особыми свойствами: - паропроницаемые и в то же время водонепроницаемые мембранные материалы, использование которых возможно для изготовления инновационных текстильных изделий; - полимерные материалы с особыми реологическими свойствами. И. Эмри раскрыл методические особенности любых из выполняемых им и его школой исследований. Они связаны с обязательной прикладной ориентацией.

В. Шевченко:

– На мой взгляд, презентация профессора Эмри – пример очень познавательного и интересного доклада. Профессор умеет захватить и держать внимание аудитории. Рассказывая про некоторые исследования, проводимые под его руководством в Люблянском университете, он привёл примеры выявленных им неожиданных и, можно сказать, парадоксальных эффектов. При помощи Александры Ауловой и желающих участников круглого стола профессор продемонстрировал удивительные опыты.

Запомнились слова профессора о том, что инновационный подход заключается в умении смотреть на обычные вещи с необычных точек зрения, что инновация рождается на стыке областей знания. На-

пример, Эмри рассказал про мембраны с уникальными свойствами, которые были созданы при его участии. При этом он подчеркнул, что такой результат был получен на стыке химии и механики. Общую мысль выступления профессора Эмри можно выразить словами: *«Нет ничего невозможного, если только это не противоречит фундаментальным законам физики»*.

Присутствующие имели возможность задать вопросы председателю круглого стола. Вопросов было достаточно много. Некоторые носили узкоспециальный характер, например, много вопросов задал аспирант из Китая. Их общение с профессором продолжилось и после завершения круглого стола.

Б. Каишфутдинов:

– В беседе на круглом столе с профессором И. Эмри мы обсудили проблематику научной инновации, её роль в развитии экономики и общества. Подчеркнуто значение расширения влияния науки на патентную деятельность. Интересны разработки академика и его научной школы в области модификации молекулярной структуры материалов для изменения их физических свойств.

Одно из интереснейших направлений деятельности школы Эмри – изучение свойств материалов, механические характеристики которых зависят от скорости изменения нагрузки, т.е. от динамики нагружения. На примере небольшого кусочка особого полимерного материала профессор показал, что он ведет себя совершенно неожиданно при различных скоростях приложения нагрузки. При ударе по твердой поверхности этот кусочек может упруго от неё отскакивать и, наоборот, в случае квазистатического нагружения он ведет себя, как мягкий пластилин, расплющиваясь в плоский «блин».

Использование подобного материала, как и многих других разработок лаборатории, возможно при создании различных изделий широкого потребления – одежды для спорта и активного отдыха, сверхлегких бронежилетов, и пр. И. Эмри привел ряд примеров из своего личного опыта взаимодействия с компаниями по созданию совместных разработок.

С. Юрченко и Р. Ушаков:

– Академик Эмри сказал одну важную вещь: *«Чтобы получить что-то новое, недостаточно знаний в одной области, необходимо сотрудничество специалистов из разных областей науки. Поэтому, чтобы все друг друга понимали, нужно говорить о сложных вещах как можно проще»*.

С. Кеворков:

– И. Эмри описал свой опыт создания кооперации, научная деятельность которой была бы направлена на создание инновационного продукта для рынка. Он рассказывал о том, что подобная практика повсеместно внедряется в учебных заведениях по всей Европе. Мне абсолютно ясна политика европейских государств в отношении инновационной деятельности. Стимуляция процесса создания продукции на основе научных открытий позволит сохранить и даже увеличить те доли на рынке, которые в настоящий момент занимают европейские компании. Именно в этом, на мой взгляд, причина создания подобных научно – производственных объединений на стыке научных областей.

Примерно этого же пытается добиться Российское государство, вливая средства и развивая инфраструктуру для инновационной деятельности. Эта работа ведётся ударными темпами. Все получают высокотехнологичное современное оборудование для создания образцов инновационной продукции. Государство стимулирует взаимодействие научных и промышленных организаций, выделяя таким кооперациям средства на создание новых производств.

В РФ существует множество программ совместного финансирования научных бизнес проектов. И, казалось бы, при такой поддержке государства инновационный бизнес должен развиваться ударными темпами, но, к сожалению, это пока не так. Мне кажется, что люди, работающие в этих областях в России, даже не подозревают о существовании друг друга. Они настолько не хотят или не умеют между собой взаимодействовать, что в итоге, несмотря на все инвестиции, достичь системного результата в области создания инновационного бизнеса не получается. Выстраивание этого взаимодействия – вот ключ к созданию инновационной экономики и именно оно существует в Европе, но как его выстраивать профессор Эмри не рассказал.



КРУГЛЫЙ СТОЛ №2

Вольфганг Грите,
доктор наук, управляющий директор
«G2Aerospace GmbH», Германия

ЛАЗЕРНАЯ СВЯЗЬ – ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Wolfgang Griethe, Doctor of Engineering,
Managing Director G2Aerospace GmbH, Germany
Laser Communication – an Innovative Technology for Air Traffic
Management*



Aircraft communications systems are aimed at guaranteeing safety of man and material and may only operate in the radio frequency bands that are internationally coordinated and approved for aeronautical communications. Today, most of Air Traffic Management (ATM) communication is enabled by using HF and VHF voice and data links with relatively low bandwidths.

Terrestrial global mobile data traffic is predicted to increase 18-fold within the next four years, strongly driven by a new generation of tablet PCs, smartphones and cabin entertainment systems, which are also expected to drive the bandwidth demand for civilian airborne communication in the future. It is also predicted that the ever-increasing demands for available bandwidth by the commonly used radio frequency band can no longer be met.

The radio frequency spectrum is a finite resource and the available frequencies are almost 100% used today. Free valences hardly exist.

These statements apply to both, the civilian and the military aviation. In military aviation, the problem is most evident in the use of Remote-Control Aircrafts (RPA) or Unmanned Aircraft Systems (UAS). For RPA

the communication link between the Ground Control Station (GCS) and the flying unmanned vehicle is a key component of the overall system. Without a reliable link the Unmanned Vehicle is not operable. While the unmanned aircraft could be securely controlled with relatively low bandwidth, enormous bandwidths for the transmission of intelligence data is required which is often not available in the radio frequency band.

The aim of this paper is to analyze the drivers and determine the elements of future Airborne Communication Networks, in order to derive promising pathways and technologies for solving the forthcoming challenges.

As such promising technology the use of laser communications is suggested to meet future data capacity requirements. The potential in airborne networking using laser links due to vast available bandwidth is described. The advantages of laser communication are broadly discussed.

It is shown that this technology today is sufficiently advanced for employment in such an environment in the foreseeable future. Finally, an aeronautical laser terminal is introduced that meets future aviation requirements for both, manned and unmanned aeronautical vehicles.

Проблемная беседа известного специалиста в области лазерных технологий, доктора наук, профессора *Вольфганга Грите* (Wolfgang Griethe, основателя и директора компании «G2Aerospace GmbH» в Германии), была проведена в рамках ММНТК-2019. Для обсуждения проблем применения лазерной связи в области аэрокосмической техники собралось 25 участников. Среди них выпускник Аэрокосмического факультета (АКФ) Главный конструктор, директор Объединённой дирекции космических аппаратов АО «ВПК «НПО машиностроения», доктор технических наук Сергей Эдуардович Зайцев; советник Генерального директора, доктор технич. наук Александр Иванович Ладыгин; инженер 1-й категории этого предприятия, выпускник АКФ Дмитрий Игоревич Галкин; старший преподаватель кафедры «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана Олег Сергеевич Коцур; студенты АКФ Михаил Стогний, Никита Каменев, Евгений Салиев, Илья Юхновец; студент факультета Специальное машиностроение (СМ) Антон Шаповалов и др.

Профессор В. Грите в своем выступлении дал критический анализ существующих в авиации систем связи, которые, обеспечивая безопасность человека и материалов, работают только в диапазонах радиочастот, согласованных на международном уровне. В настоящее время управление движением обеспечивается за счет высокочастотных

и ОВЧ каналов связи и передачи данных с относительно низкой пропускной способностью.

В течение ближайших четырех лет глобальный трафик мобильной передачи данных наземных сетей по прогнозу увеличится в 18 раз, что будет в значительной степени обусловлено планшетными ПК, смартфонами и развлекательными системами. Прогнозируется также, что постоянно растущие требования к доступной ширине полосы для радиочастот больше не смогут быть удовлетворены. Радиочастотный спектр – ограниченный ресурс, доступные частоты сегодня используются почти на 100%. Свободные ресурсы в будущем невозможны.

Эта проблема относится как к гражданской, так и к военной авиации. В военной авиации проблема наиболее актуальна для летательных аппаратов с дистанционным управлением (RPA) или в случае беспилотных авиационных систем (UAS). Без надежной связи беспилотный аппарат не работает. При низкой полосе пропускания безопасное управление если ещё и возможно, то для передачи, например, разведывательных данных уже требуются огромные полосы пропускания, которые в области радиочастот часто недоступны.

В. Грите представил для обсуждения перспективные пути и технологии решения названных проблем. Как многообещающую технологию он предлагает лазерную связь, удовлетворяющую требованиям к будущим объёмам передаваемых данных. Дал описание потенциала, необходимого для создания бортовых сетей, использующих лазерные линии связи с большой доступной полосой пропускания. Сформулировал для обсуждения преимущества лазерной связи.

Профессор Грите показал, что эта технология сегодня достаточно хорошо продвинута и может быть использована на практике в обозримом будущем. Например, уже введен авиационный лазерный терминал, который отвечает будущим требованиям как для пилотируемых, так и для беспилотных летательных аппаратов.

Проблемная беседа доктора Грите на круглом столе вызвала неподдельный интерес, проходила в непринужденной обстановке и завершилась живой дискуссией. Участники этой беседы позже делились своими впечатлениями:

О. Коцур:

– Специалисты НПО задавали вопросы по конкретным техническим проблемам реализации лазерных терминалов, по энергопотреблению, по стоимости, по эффективности при различных климатических условиях, по спектру частот и др. Студентов интересовали возможности использования лазерной связи в применении к малым космическим аппаратам типа CubeSat, а также изготовление лазерных

терминалов в условиях университетских лабораторий. На все вопросы профессор Грите дал исчерпывающие ответы на примерах существующих прототипов лазерной связи, успешно испытанных в космических условиях. После доклада студенты не упустили и возможности лично пообщаться с профессором Грите на английском языке.

И. Юхновец:

– Как я понял, современные учёные и инженеры лазерную связь уже готовы использовать для решения технических задач. Доктор Грите рассказал об уже проведённых и планируемых экспериментах. Я полагаю, что внедрение подобных инновационных технологий в современной аэрокосмической отрасли необходимо. Необходима и их популяризация среди студентов и специалистов.

Е. Салиев:

– Обсуждались общие физические принципы работы лазерных устройств передачи данных. Было показано, что передача данных с их помощью имеет такие преимущества, как повышенная скорость передачи и невозможность скрытого перехвата. Это с успехом может быть использовано в космической технике. Была продемонстрирована работа трёх лазерных устройств, сконструированных под руководством доктора Вольфганга Грите. Доктор упомянул, что в этих технологиях заинтересованы многие лидеры рынка и что его разработки нашли отклик в США.

Н. Каменев:

– На мой вопрос, как обеспечить связь при высокой облачности, когда лазер не может пробиться сквозь облака, Wolfgang Griethe ответил, что спутники можно связывать в сеть таким образом, чтобы аппарат, который не может связаться с Землей, связывался с другим спутником, который обеспечил бы передачу данных на Землю, выступая ретранслятором.

М. Стогний:

Не вытеснит ли лазерный способ передачи информации радиолокацию? На этот вопрос доктор Wolfgang Griethe мне ответил, что без радиолокации не обойтись, поскольку лазерная связь при совместном применении с радиосвязью дают существенно лучший результат.

А. Шаповалов:

На вопрос, касающийся конструкции головки лазерной системы связи, может ли она вращаться, доктор Грите ответил положительно: «Да, может вращаться, но только относительно одной оси».

На вопрос О. Коцура об успехах в этой области у иных государств, кроме Германии, Wolfgang Griethe ответил: *«Насколько мне известно, практического результата почти ни у кого нет»*.

Д. Галкин:

- Конференция собрала очень много выпускников Аэрокосмического факультета, в том числе и тех, с кем связь была потеряна сразу после выпуска. Было приятно с ними встретиться, узнать, чем каждый занимается. Это напомнило встречу выпускников.

На беседе присутствовало много профессионалов, радистов НПО машиностроения, из-за чего беседа была очень интересной и вызвала бурную дискуссию, продлившуюся не менее полутора часов. На конференцию был свободный доступ для всех желающих. Поэтому со мной пришло несколько школьников, занимающихся в Доме детского творчества Реутова «Изобретариум». Для них это событие будет путеводной звездой при выборе направления профессиональной деятельности. Одна из девочек, например, мне заявила, что хочет в следующем году заниматься проектом передачи данных с помощью лазеров. Да, такие конференции очень вдохновляют и расширяют кругозор. Спасибо за организацию такого события международного масштаба и за привлечение молодежи к участию в нем.



КРУГЛЫЙ СТОЛ №3

Jonas Trojer,

Люблянский университет (Словения)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ВЫСШИХ РЕЗУЛЬТАТОВ (Победа на крыльях Челомея)

Jonas Trojer, University of Ljubljana (Slovenia)

Optimization of the design of the aircraft for achievement of the best results (Victory on the wings of Chelomei)



In this presentation the success of the Slovenian team from the University of Ljubljana, Faculty of mechanical engineering in the international competition »Design, build, fly« will be presented. The presentation will consist of three parts. The first one will provide a short description of the competition itself. The second part will focus on the design methodology that the team used to produce the winning aircraft. It is based on a numerical algorithm, which uses mathematical models for the aircraft's mass, aerodynamic and propulsion properties for the design parameter optimization. In the third part the final result of the design procedure will be presented, along with the performance it achieved in the competition and won the first place among more than a 100 universities from the entire world.

В этой презентации представлен успех словенской команды из Университета Любляны, факультета машиностроения в международном конкурсе «Проектируй, строй, лети». Презентация состоит из трех частей. В первой дано краткое описание самого конкурса. Вторая часть посвящена методологии проектирования, которую команда использовала для создания самолета-победителя. Он основан на численном алгоритме, который использует математические модели массы самолета, аэродинамических и двигательных характеристик для оптимизации

параметров конструкции. В третьей части представлен окончательный результат процедуры проектирования, а также результаты, достигнутые на конкурсе и занявшие первое место среди более 100 университетов со всего мира.

Руководитель круглого стола – представитель Люблянского Университета Jonas Trojer – член команды студентов Словенского Университета, ставшей 12 апреля 2019 года победительницей (1-е место) в престижнейших международных соревнованиях студенческих команд, которые ежегодно проводит Американский институт аэронавтики и астронавтики (AIAA).

В работе круглого стола приняли участие: руководитель Молодёжного космического центра МГТУ им. Н.Э. Баумана доктор технических наук, профессор Вера Ивановна Майорова; кандидат техн. наук, доцент Виктор Витальевич Леонов; зам начальника отдела АО «ВПК «НПО машиностроения», зам. декана АКФ Павел Владимирович Аверьянов; выпускники АКФ, молодые инженеры корпорации Максим Конкин, Сергей Пилипчук и Оксана Белая; студенты АКФ: Евгений Салиев, Николай Тютюнник, Владимир Булавкин, Борислав Худабергенов, Марк Борзенков, Дарья Мелешкова и др. Всего в беседе приняло участие около 20 человек.

Вот, что рассказал в своём докладе Jonas Trojer:

– Наша команда – 17 студентов факультета Машиностроение Люблянского университета Словении. Под руководством доцента Viktor Šajn мы по заданию организаторов конкурса из Американского института аэронавтики и астронавтики (AIAA) спроектировали, изготовили и запустили модель дистанционно управляемого летательного аппарата с раскрывающимися в полёте крыльями. Модель была изготовлена из современных композиционных материалов.

Подготовка к состязаниям заняла более 6 месяцев и включала в себя создание модели самолета с радаром, который мог бы взлетать с авианосца в соответствии с техническим заданием. Помимо ограничений на размеры, задание требовало складывание крыльев, которые раскрываются автоматически. Требовалось также вращение радара и сбрасывание снарядов. По заданию самолет должен: нести как можно больше снарядов; взлетать с 3-метровой платформы на большой скорости; быть быстро подготовленным к взлету.

Возглавлял команду студент инженерного факультета *Timotej Hofbauer*. Студенты решили собрать самолет только из композитов с помощью крупных спонсоров (Pipistrel, Akrapovič и Zavod404). Строили самолет более 6 месяцев, посвятили ему более 2000 часов работы.

Нам удалось создать очень быстрый и легкий композитный самолет, способный на скорости более 100 км в час летать более 10 минут. Подготовленный к полету самолет весит около 9 кг, из которых 35% составляют батареи. Он может нести 18 снарядов и имеет размах крыльев 2,5 метра.

В конкурсе участвовали более 100 университетов мира. Завоевали победу в состязании с такими известными университетами, как Массачусетский технологический институт (MIT), Стэнфордский университет, Университет Южной Калифорнии, Технологический институт Джорджии, Гонконгский университет, Университет Технологии Вирджинии и все остальные.

Соревнование проходило в пустыне и состояло из трех этапов. На первом этапе достигли максимальной скорости благодаря системе раскрытия крыльев, которая функционирует по принципу торсионной пружины. Первый полет показал, что самолет способен пройти три круга. На втором этапе студенты Словении обошла все университеты. Отличная обтекаемость самолета с установленным радаром позволила пройти все три круга за 1 минуту и 29 секунд.

Третий этап принес наибольшее количество очков. За 10 минут нам удалось совершить рекордные 18 кругов, сбросив 18 снарядов. Это на 4 круга больше, чем у команды, занявшей второе место, и сделало нас абсолютными победителями. Мы были рады взять на себя лидерство среди команд самых престижных университетов мира.



На фото: Команда студентов Люблянского университета, 12.04.2019

Декан нашего факультета *Mitjan Kalin* высоко оценил превосходный результат студентов. Он сказал, что этот успех стал следствием знаний и упорного труда. Мы победили, несмотря на явное неравенство в материальном обеспечении соревнующихся команд.

Меня спрашивают, почему мы использовали в своём проекте раскрывающиеся крылья? Это было одним из основных требований конкурса. Правила меняются ежегодно. В этом году задача заключалась в разработке многоцелевого самолета для поддержки операций авианосца. Самолет должен был поместиться в коробку размером 90 на 60 см со сложенными крыльями и взлетать с трапа длиной 3 м.

Известно, что впервые раскрывающиеся в полёте крылья применил в конструкции своих ракет В.Н. Челомей. Первой была крылатая ракета (П5, «Пятёрка»). Эта ракета стартует из герметичного контейнера. Гениальное изобретение В.Н. Челомея – раскрывающееся в полете крыло – признанно во всём мире как классическое конструкторское решение, обеспечивающее минимальные габариты пускового контейнера.

Участник круглого стола *Евгений Салиев* позже рассказал:

– *Jonas* изложил принятую методологию проектирования. Он в деталях описал алгоритм разработки и представил математическую модель системы, которая была ими составлена и использована для оптимизации параметров конструкции. В качестве итога работы *Jonas* продемонстрировал результаты испытаний лётного образца, сравнив их с предсказаниями модели. На мой вопрос, учитывался ли в математической модели порядок сбрасывания снарядов, ответил: «Нет, не учтён. На нескольких примерах мы показали, что его учёт не приводит к существенному изменению результатов, а время расчёта увеличивает».

На вопрос о его персональной роли в проекте *Jonas* ответил:

– На этом конкурсе мы выступаем ежегодно и давно. Я – один из авторов основной концепции проектирования. А в этом году я помогал проводить испытания в аэродинамической трубе. Проведено несколько десятков продувок ЛА в разных конфигурациях.

– Условия конкурса из года в год схожи?

– Нет, – ответил *Jonas*, – условия меняются. Поэтому даже крупные американские университеты не могут занять первые места.

– Сколько времени у вас было на подготовку?

– 6 месяцев от объявления условий до дня конкурса. На всё мы потратили около 2000 часов. Занимались этим после учебных пар и основной работы.

– Вы, вообще, спали?

– Да, но не очень много.

Вопросов к *Jonas* было много. Отвечал он с удовольствием, подробно. Судя по всему, *Jonas* чувствовал, что находится в дружеской среде симпатизирующих ему людей.

Евгений *Салиев* вспоминает:

– А слушать было что. Человек, участвовавший в международном конкурсе авиамоделей и занявший там, среди сотни университетских команд, ни много ни мало, первое место, доступно и в деталях пояснял, как им (команде Люблянского Университета Словении) это удалось. Он описал суть избранного командой метода. Первым делом было решено выяснить, какой диапазон параметров соответствует оптимальному решению поставленных задач. Поскольку проблема сложная и комплексная, задачу решали численно.

На вход специально написанного программного обеспечения (ПО) подавали все параметры будущего самолёта: от геометрических размеров каркаса и свойств материалов до задержки сигнала управляющих систем. Далее, туда же на вход ПО, поступали все известные зависимости этих параметров друг от друга. Затем, в чёрном ящике творилась магия расчёта, в результате чего на выход поступал топ значений наборов параметров, из которых уже совершенно не магическим образом студенты выбирали итоговый результат.

Конечно, дело не обошлось без испытаний и последующей корректировки. Тестовая авиамодель передала эстафету итоговому образцу, который и поехал на конкурс. И выступил очень неплохо, увезя с собой главную награду. Вот об этом всём в течение минут сорока и рассказывал наш словенский друг. Особое внимание он уделял тому, какие же зависимости вошли в итоговую модель и почему именно они. Затронут непростой вопрос редуцирования системы и упомянуты трудности, с которыми столкнулись в эти шесть конкурсных месяцев.

Вообще, вопросов оказалось довольно много, так что беседа растянулась минут на тридцать. По итогу, я попросил себе презентацию с докладом – полезная информация из первых рук!

Так, по-моему, и должна работать инженерия нашего времени: поиск наиболее эффективных решений, без привязки к уже существующим решениям по принципу «ну работает же». А вдруг можно сделать, чтобы работало на десятки процентов лучше? Кто искал? Понятно, что линейные комбинации все давно рассмотрены; зато нелинейных связей – поле непаханое. Параметрический подход как раз и позволяет увидеть всё то, на что обычно не смотрят. Позволяет, но требует мощностей.

Хорошая тема и доклад хороший. Спасибо, *Jonas Trojer*.

Участие в работе круглого стола руководителей Молодёжного космического центра МГТУ им. Н.Э. Баумана доктора технических наук, профессора Веры Ивановны Майоровой и кандидата технич. наук, доцента Виктора Витальевича Леонова значительно расширило рамки заявленной тематики проблемной беседы. Они выступили с интересной презентацией о проектах Молодёжного космического центра, поделились планами на будущее, ответили на многочисленные вопросы студентов.



Майорова В.И.

Леонов В.В



ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Секция №1 ММНТК-2019 Аэрокосмические технологии

Руководители секции:



Широков Павел Алексеевич – зам. Генерального директора, зам. Генерального конструктора АО «ВПК «НПО машиностроения», доцент кафедры СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Журавлев Евгений Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры СМ-2 МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Драгун Дмитрий Константинович – доктор технических наук, профессор кафедры СМ-8 «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Маслов Александр Иванович – зам. руководителя службы АО «ВПК «НПО машиностроения», доктор технических наук, профессор кафедры ИУ-1 «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана



На фото: П.А. Широков открывает заседание секции

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ УУКМ НА БАЗЕ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В СТРУЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ЖРД

В.В. Горский, М.Г. Ковальский, В.Г. Реш
АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия,
vpk@vpk.npomash.ru

*Determination of the ablative properties of UUKM based on the analysis of experimental results in a jet of combustion products of a rocket engine. V.V. Gorsky, M.G. Kovalsky, V.G. Resh
JSC «MIC «NPO mashinostroyeniya», Reutov, Russia*

Абляционная тепловая защита уже в течение длительного времени широко используется в технике при проектировании высокоэнергетических устройств, подверженных воздействию газовых пото-

ков. Однако ее использование сопряжено с изменением внешних обводов защищаемой конструкции, а зачастую и со сложностью предсказания абляционных характеристик теплозащитного материала в натуральных условиях его эксплуатации.

Одним из наиболее важных элементов механизма аэротермического разрушения углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) является унос массы в конденсированной фазе (эрозия), который обычно наблюдается в высоконапорных газовых потоках.

В докладе представлено математическое описание процесса эрозии углерода, апробированное на результатах экспериментов в струе продуктов сгорания жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), проведенных в широком интервале изменения давлений торможения газового потока.

Показано, что процесс эрозии играет решающую роль в суммарном механизме абляции УУКМ в указанных условиях. Предложенная методика расчета скорости эрозии рекомендуется к использованию в условиях натурной эксплуатации УУКМ.



М.Г. Ковальский

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

В.В. Горский, А.А. Дмитриева

АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия,
vpk@vpk.npomash.ru

*Calculation and experimental study of heterogeneous oxidation of
carbon-carbon composite material in air*

*V.V. Gorsky, A.A. Dmitrieva,
JSC «MIC «NPO mashinostroeniya», Reutov, Russia*

Полет высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА) характеризуется высокими тепловыми и силовыми нагрузками, а также значительной величиной обгара тепловой защиты. При проектировании высокотемпературных элементов конструкции высокоскоростных ЛА широко применяются современные углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ), обладающие минимальной скоростью аэротермохимического разрушения. Унос массы данных материалов сопровождается протеканием целого ряда процессов, к числу которых относятся: окисление, сублимация, нитрирование и эрозия. Качественное проектирование тепловой защиты данного класса неотделимо от необходимости исследования основных закономерностей протекания каждого из указанных процессов.

Для абляционных теплозащитных материалов воспроизведение в наземных условиях тех силовых и тепловых нагрузок, которым они подвергаются в процессе их натурной эксплуатации невозможно. Поэтому для корректного переноса результатов стендовой отработки абляционных теплозащитных материалов на натурные условия эксплуатации применяют те или иные расчетно-теоретические методики расчета параметров уноса массы материала, апробированные на результатах стендовых экспериментов и скорректированные по результатам летных испытаний.

В данной работе:

1) приведена принципиальная схема проведения стендовых абляционных экспериментов для плотного углеродного материала, описана расчетно-теоретическая модель абляции углерода, обусловленной процессом гетерогенного окисления материала, изложена методика

определения кинетических констант, входящих в принятую модель абляции;

2) получены новые расчетно-экспериментальные данные по кинетике окисления УУКМ;

3) установлено единое математическое описание для расчета скорости гетерогенного окисления УУКМ в потоке воздуха, апробированное на широком круге стендовых экспериментов, проведенных в струях аэродинамических установок, и на данных по обгару УУКМ, зафиксированного в процессе летного эксперимента высокоскоростного ЛА;

4) полученное математическое описание включено в методику комплексного взаимно сопряженного расчета движения, нагрева, прогрева и обгара тепловой защиты высокоскоростных ЛА и соответствующую программу для ПЭВМ.



В.В. Горский



А.А. Дмитриева



ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ФОРМАТА «КУБСАТ»

А.С. Кудинов, И.И. Юрченко, А.Г. Клименко, В.В. Ольховская
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия, kerc@elnet.msk.ru

Propulsion systems of spacecraft format «cubesat»

I.I. Yurchenko, A.S. Kudinov A.G. Klimenko, V.V. Olkhovskaya
State Research Center Federal State Unitary Enterprise «Keldysh
Center», Moscow, Russia

Представлен обзор основных видов двигательных установок (ДУ) для космических аппаратов (КА) в формате «кубсат», позволяющих расширить функционал КА за счет возможности орбитального маневрирования [1 – 24]. Современные конструкции ДУ для кубсатов отражают потребность разработчиков в минимизации стоимости КА и снижении трудоемкости работ по подготовке к пуску. Наиболее распространенным становится выведение кубсатов на орбиту в качестве попутного груза, что предъявляет ряд требований к системам ДУ по исключению с их стороны негативного воздействия на основную полезную нагрузку. Сформировались следующие основные рекомендации к двигательным установкам кубсатов:

- возможность непосредственной установки ДУ в типовые размеры формата кубсат (пропорциональные юниту 1U = 10×10×10 см);
- модульность конструкции, объединяющей в единый блок двигатель, топливные емкости, агрегаты управления и подачи;
- масштабируемость ДУ и суммарного доступного импульса за счет выбора оптимального объема топливной емкости;
- экологически чистое и безопасное для персонала топливо, позволяющее минимизировать затраты на конструктивно-технологические и организационные мероприятия по безопасности на всем жизненном цикле кубсата;
- высокие удельные тяговые характеристики и многократность включений, высокое быстродействие клапанов и наличие длительного режима работы двигателей.
- обеспечение увода кубсата с орбиты после завершения функционирования для минимизации космического мусора.

Конструктивной основой КА является пространственная рама стандартного размера, пропорционального 1U, которая дополняется целевыми и служебными системами, включая, при необходимости, двигательную установку. На рис. 1 (слева) для примера показан общий

вид кубсата [1], оснащенного микродвигательным модулем на газе бутан, разработанным компанией SSC Nanospace (Швеция).

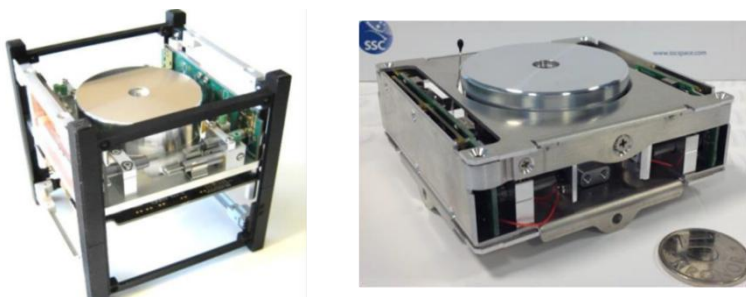


Рис. 1. Общий вид кубсата и его модульной двигательной установки [1]

Реализованы основные виды двигателей, применяемых мировыми разработчиками «кубсатов»: однокомпонентные термokatалитические и двухкомпонентные двигатели, на экологически чистых компонентах, газовые двигатели и гибридные двигательные установки.

Одни из наиболее распространенных химических микро ДУ для кубсатов построены на основе однокомпонентных термokatалитических двигателей на экологически чистом «зеленом» топливе [4 - 6]. К основным преимуществам этих ДУ относятся более высокая плотность по сравнению с гидразином, что позволяет уменьшить объем баков, повышенный удельный импульс тяги, экологическая безопасность. Экологичность топлива позволяет хранить и транспортировать его практически без ограничений, что существенно удешевляет работы по подготовке КА, поскольку не требуется защита персонала. Основным недостатком – высокая температура реакции в камере с катализатором, превышающей аналогичную величину для гидразина, что требует дополнительной защиты камеры и сопла и ограничивает применение аддитивных технологий.

Компанией Swedish Space Corporation (SSC, Швеция) совместно с Европейским космическим агентством созданы двигатели тягой от 1 Н до 200 Н. Двигатель тягой 1 Н прошел летные испытания [8]. Компания Aerojet Rocketdyne (США) на базе своих гидразиновых однокомпонентных двигателей создала двигательную установку на экологичном топливе тягой 1 Н (GR-1) и 22 Н (GR-22) [9,10]. Компания Busek Space Propulsion and Systems (США) [11] разработала двигатель BGT-X5 так же на экологически чистом топливе тягой 0,5 Н и ДУ на

его основе, сконпонованную в стандартном объеме 1U. На рис. 2 показаны двигатели на экологичном топливе для применения на кубсатах.

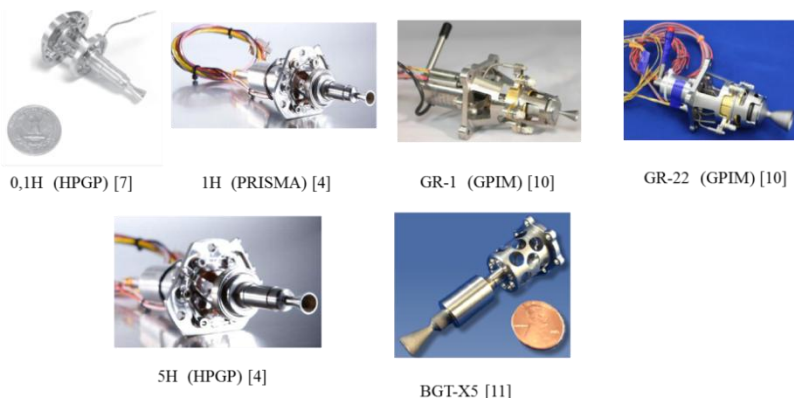


Рис. 2. Двигатели для кубсатов на экологически чистом топливе

На базе рассмотренных двигателей были разработаны двигательные установки в виде модулей. Компанией Busek предложена двигательная установка размерностью 1U, поставляемая в виде готового модуля для установки на космический аппарат [11]. Наиболее удобными для разработчиков кубсатов являются двигательная установка в едином корпусе, со стандартными посадочными местами, которая при использовании безопасного топлива может поставляться в заправленном состоянии.

Компания VACCO Industries (США) разработала модуль ДУ в едином корпусе с четырьмя экологичными ТКД тягой 0,1 Н для КА класса кубсат под названием Lunar Flashlight Propulsion System (LFPS) [12]. ДУ позволяет управлять ориентацией КА и по изменению орбитальной скорости. Модуль имеет размерность 3U и выполнен в едином корпусе с габаритами 225×123×95 мм, массой 5 кг в заправленном состоянии, объединяющем бак, агрегаты ДУ и четыре независимо работающих двигателя.

Также VACCO представила гибридную микродвигательную установку, сочетающую ТКД и газовые двигатели [13]. Такая ДУ устанавливается на КА проекта ArgoMoon (разработчик – Argotec S.r.l., Италия). Модуль имеет размерность примерно 1,3U (100×92×143 мм) массой 2,1 кг в заправленном состоянии, оснащен одним ТКД тягой 0,1 Н и четырьмя газовыми двигателями тягой 0,025 Н.

Наибольшей простотой, надежностью и доступностью характеризуются газовые двигатели, создающие реактивную тягу за счет истечения запасаемого холодного газа под высоким давлением через сопло без каких-либо химических реакций. Газовые двигатели получили широкое распространение на малых КА и кубсатах, несмотря на небольшую величину удельного импульса тяги (40...60 с). Одну из лидирующих позиций по разработке и изготовлению микродвигательных установок на основе газовых двигателей занимает компания VACCO Industries (США). Размерность ДУ варьируется от 0,14 до 1U, при максимальной размерности ДУ остается минимальный объем для полезной нагрузки.

В настоящее время предлагаются разнообразные управляющие реактивные микродвигательные модули для кубсатов, имеющие от 4 до 8 газовых двигателей для КА различного научного назначения. Организации – разработчики микродвигательных установок продолжают поиски путей совершенствования ДУ для кубсатов, в первую очередь в направлении повышения удельных тяговых характеристик. Поскольку топливная пара кислород/водород является одной из наиболее эффективных, рассматриваются варианты кислород/водородной микро ДУ, работающей на электролизе воды, в результате которого получаются газообразные компоненты для работы двигателя.

Исследуются варианты микро ДУ на водном растворе перекиси водорода и двигательные установки на газе бутан. Специалистами Омского государственного технического университета предложены экологически чистые микроспутниковые двигательные платформы с рабочим телом на основе бутана [22] и электродуговые микродвигатели на азоте [23].

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» провел исследование модельных микродвигателей, работающих на электролизе воды [24], которые подтвердили возможность получения высокоэффективных компонентов кислород и водород путём электролиза воды и устойчивую работу кислород/водородного двигателя тягой 0,1 Н совместно с системой электролиза. Расчетный удельный импульс составил 373 с.

Выводы. Разработка микродвигательных установок для управления космическими аппаратами класса кубсат становится новым направлением развития космической техники, позволяющим существенно повысить эффективность использования данного вида КА. В настоящее время в мире получен опыт летной эксплуатации микродвигателей на «зеленом» топливе, микро ДУ на «холодном» газе, ведутся исследования по созданию микродвигателей на альтернативных видах топлива, включая электролиз воды. Можно говорить о формировании

общих требований к микро ДУ, основными из которых являются модульность, масштабируемость, безопасность, высокое быстродействие, короткие сроки изготовления и поставки, невысокая стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Palmer K., Sundqvist J., In-Orbit Demonstration of a MEMS-based Micropropulsion System for Cubesats, SSC Nanospace, www.sscspace.com/nanospace
- [2] Doncaster B., Williams C., Shulman J.. Nano/Microsatellite market forecast. SpaceWorks Enterprises, Inc. (SEI) 2017.
- [3] Kulu E.. Nanosatellite Database, www.nanocast.eu (дата обращения 23.10.2018)
- [4] Neff K. and King P.. High performance green propellant for satellite applications. 45th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. 2 - 5 August 2009, Denver, Colorado. AIAA 2009-4878.
- [5] Anflo K., Grönland T.A., Wingborg N.. Development and testing of AND-based monopropellants in small rocket engines. 36th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint propulsion conference & Exhibit 17-19 July 2000 Huntsville, Alabama. AIAA 2000-3162.
- [6] Anflo, K., Grönland, T. A, Bergman, G. Johansson, M. Nedar, R. Towards green propulsion for spacecraft with adn-based monopropellants. 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 7-10 July 2002, Indianapolis, Indiana. AIAA-2002-3847
- [7] Flight-proven. High Performance Green Propulsion. Bradford Ecaps. www.ecaps.space, (дата обращения 23.10.2018)
- [8] K. Anflo, S. Persson, P. Thormählen, G. Bergman, T. Hasanof. Flight demonstration of an ADN-Based propulsion system on the PRISMA satellite. 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 9 - 12 July 2006, Sacramento, California. AIAA 2006-5212.
- [9] Ronald A. Spores, Robert Masse, Scott Kimbrel. GPIM AF-M315E propulsion system. 49th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 15-17 July 2013, San Jose, California. AIAA 2013-3849.
- [10] Robert K. Masse, May Allen, Elizabeth Driscoll, Ronald A. Spores. AF-M315E propulsion system advances & improvements. Propulsion and Energy Forum July 25-27, 2016, Salt Lake City, UT 52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. AIAA 2016-4577.
- [11] BGT-X5 green monopropellant thruster. Busek Co. Inc. www.busek.com. (дата обращения 23.10.2018).
- [12] Lunar flashlight propulsion system. VACCO Industries. www.vacco.com. X16029000-01. (дата обращения 23.10.2018)
- [13] ArgoMoon Propulsion System. VACCO Industries. www.vacco.com. X17025000. (дата обращения 16.10.2018)
- [14] Propulsion unit for CubeSats. VACCO Industries. www.vacco.com . 11044000-01. (дата обращения 23.10.2018)

- [15] Reaction control propulsion module. VACCO Industries. www.vacco.com . X13003000-01. (дата обращения 23.10.2018)
- [16] Palomar micro propulsion system. VACCO Industries. www.vacco.com . XS0E10220-01. (дата обращения 23.10.2018)
- [17] JPL marco – micro cubesat propulsion system. VACCO Industries. www.vacco.com X14102000-01. (дата обращения 23.10.2018)
- [18] CuSP propulsion system. VACCO Industries. www.vacco.com. X16038000-01. (дата обращения 23.10.2018)
- [19] Karsten James, Maxwell Bodnar, Mason Freedman , Lars Osborne, Richard Grist and Robert Hoyt. Hydros: high performance water-electrolysis propulsion for cubesats and microsats. AAS 17-145.
- [20] SNAP-1 Propulsion System. Surrey Space Center. www.sssl.co.uk, (дата обращения 23.10.2018)
- [21] Jun Matsushima, Masahiro Kaku¹, Mayu Banno¹ and Hironori Sahara. Development of propulsion system with bi-propellants based on green propellant for microsatellites. Propulsion and Energy Forum Propulsion and Energy Forum 52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. AIAA 2016-4906.
- [22] Блинов В.Н., Лукьянчик А.И., Рубан В.И., Шалай В.В.. Экспериментальные исследования двигательной установки микроспутниковой платформы с рабочим телом на основе бутана. Материалы XII Всероссийской научной конференции, посвященной памяти главного конструктора ПО «Полет» А. С. Клинышкова, Омск, 2018.
- [23] Блинов В.Н., Вавилов И.С., Федянин В.В., Шалай В.В., Ячменев П.С., Рубан В.И.. Экспериментальные исследования электродугового микродвигателя на азоте с блоком управления для малых КА, Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Том 6, № 2, стр. 102-107.
- [24] Кочанов А.В., Клименко А.Г.. Перспективы создания и применения для управления КА двигательных установок на базе электролиза воды. Полет. Общественный научно-технический журнал. 2012. №4, стр. 9-15.



А.С. Кудинов



И.И. Юрченко



ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ УВОДА КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Д.А. Гришко¹, А.А. Баранов²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, bauman@bmstu.ru

² ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия,
kercc@elnet.msk.ru

Fuel and energy analysis of a spacecraft to remove large objects of space debris. D.A. Grishko¹, A.A. Baranov²

¹Bauman Moscow State Technical University, Russia;

² State Research Center Federal State Unitary Enterprise «Keldysh Center», Moscow, Russia

В докладе анализируются массовые и энергетические характеристики активного космического аппарата (КА), предназначенного для увода объектов крупногабаритного космического мусора (ОКМ) с низких околоземных орбит (высоты 600-2500 км) и из окрестности геостационарной орбиты (ГСО). В качестве ОКМ рассматривались верхние ступени ракет-носителей (на низких орбитах) и разгонные блоки (на ГСО).

Несмотря на различие возможных инструментов воздействия на ОКМ можно выделить два варианта их увода на орбиты захоронения (ОЗ). При первом варианте активный КА выполняет перелёты между объектами и "стыковку с ними", а их увод на ОЗ осуществляется при помощи специальных устройств, закрепляемых на их поверхности. К таким устройствам можно отнести солнечный парус или небольшую двигательную установку, способную выдать тормозной импульс. При втором варианте увод объекта на ОЗ осуществляется за счёт его буксировки активным КА, который выполняет перелёт к очередному объекту с ОЗ предыдущего объекта.

В данном докладе для обоих вариантов увода: для низких орбит и ГСО будут рассмотрены пять взаимосвязанных вопросов, позволяющих оценить начальную массу КА-сборщика ОКМ:

- какова в самом первом приближении сухая масса КА-сборщика?
- какова масса отделяемого модуля и уводимых с его помощью объектов ОКМ? (I вариант увода)
- какими должны быть запасы топлива на борту отделяемого модуля? (I вариант увода)
- какими должны быть запасы топлива на борту КА?

- какое количество отделяемых модулей на борту КА-сборщика является рациональным? (I вариант увода)

Сухую массу КА-сборщика можно оценить, зная массу современных космических кораблей. Все служебные системы корабля "Прогресс", необходимые для маневрирования в космосе и осуществления стыковки, будут в том или ином виде присутствовать и на борту КА-сборщика. Массовым аналогом манипуляторов, необходимых для захвата объектов ККМ и фиксации ТДК на их поверхности, может служить система Canadarm-1. В результате проведённых исследований было показано, что сухая масса КА-сборщика, аналогичного кораблю «Прогресс», составит примерно 4100-4200 кг.

Основным результатом работы является оценка реализуемости I и II вариантов увода ОКМ на ОЗ для каждого типа орбит. Для низких орбит срок баллистического существования ОЗ не должен превышать 25 лет, что требует изменения большой полуоси орбит реальных ОКМ не менее чем на 200 км. В связи с этим, реализуемым является I вариант увода на ОЗ с помощью отделяемых модулей, так как в этом случае потери энергетике на транспортировку некоторого количества заправленных модулей оказываются заметно меньше потерь от транспортировки системы КА+ОКМ на ОЗ и возвращения за новым объектом. Выведение КА-сборщика, работающего по I варианту увода, возможно на современных ракетах-носителях. В случае с ГСО I вариант увода является нереализуемым из-за большой стартовой массы КА-сборщика. ОЗ также отстоит от ГСО примерно на 200 км, но, вследствие удалённости от притягивающего центра, такой манёвр перехода требует примерно в 10-12 раз меньших затрат суммарной характеристической скорости. При II варианте увода стартовая масса КА позволяет вывести его в окрестность ГСО, а количество объектов, уводимых одним КА, определяется шириной космодрома.



Д.А. Гришко



КОМПОНОВОЧНЫЕ СХЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ УВОДА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Г.А. Щеглов, М.А. Борзенков, Н.Д. Каменев, М.В. Стогний
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
bauman@bmstu.ru

*Spacecraft layout diagrams for the removal of large-sized objects
of space debris. G.A. Scheglov, M.A. Borzenkov, N.D. Kamenev,
M.V. Stogniy*
Bauman Moscow State Technical University, Russia

Очистка околоземного пространства от космического мусора сегодня является актуальной проблемой космонавтики [1]. К космическому мусору относятся две разновидности объектов: крупногабаритные объекты – выработавшие ресурс космические аппараты, последние ступени ракет-носителей и разгонные блоки; фрагменты – части и обломки космических аппаратов различного размера. Со временем первая разновидность переходит во вторую за счет фрагментации. Лавинообразный сценарий такого перехода, рассмотренный Кесслером [2], представляет помеху развитию космонавтики. В этой связи удаление крупногабаритных объектов космического мусора (КОКМ) как потенциального источника фрагментов представляется наиболее эффективным способом борьбы с техногенным загрязнением околоземного пространства.

Баллистические расчеты показывают, что энергетически наиболее выгодно осуществлять в течении одной миссии удаление нескольких КОКМ, имеющих близкое наклонение орбит. Серийными КОКМ являются, в частности: спутники связи, построенные на базе спутниковой платформы "КАУР-1" массой около 850 кг, располагаются на круговых орбитах высотой от 700 до 1000 км; верхние ступени ракет-носителей типа «Зенит» массой около 9000 кг, движущиеся по близким к круговым орбитам, имеющим большую полуось около 7000 км и эксцентриситет около 0.003; разгонные блоки типа ДМ массой 3200 кг, находящиеся в окрестности геостационарной орбиты (ГСО).

В докладе представлены результаты исследования вариантов компоновочных схем космических аппаратов, предназначенных для удаления группы из 10-15 описанных выше КОКМ. Проанализированы имеющиеся проекты-аналоги. Показано, что для низких и высоких орбит целесообразно использовать различные варианты компоновки.

Очистку низких околоземных орбит выгоднее осуществлять посредством космического комплекса, состоящего из активного космического аппарата (АКА), на борту которого располагаются малые космические аппараты – тормозные двигательные модули (ТДМ). АКА осуществляет перелет между КОКМ, маневр встречи на орбите, захват объекта, установку на нем ТДМ, ориентацию и стабилизацию КОКМ перед стыковкой. ТДМ предназначен для выдачи тормозного импульса, переводящего КОКМ на орбиту захоронения. Способ крепления ТДМ к КОКМ зависит от компоновки последнего. Для ступени РН предлагается устанавливать ТДМ в сопло маршевого двигателя, используя оригинальную компоновку АКА по схеме «обойма». Для КА на базе платформы "КАУР" предлагается ТДМ в виде разрезного кольца, которое закрепляется манипулятором на цилиндрическом корпусе аппарата. Очистку ГСО целесообразно выполнять одноступенчатым АКА (без использования ТДМ), который осуществляет перелет между КОКМ, маневр встречи на орбите, захват объекта и жесткую стыковку с ним за сопло маршевого двигателя, доставку КОКМ на орбиту захоронения.

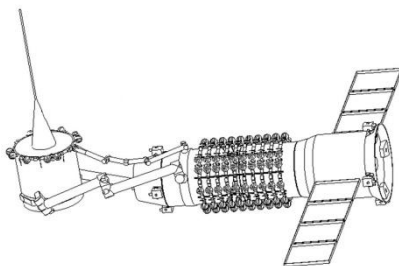


Рис. МКА на базе открытой модульной архитектуры

Представлены решения, направленные на обеспечение центровки АКА при расходе ТДМ, а также способы минимизации возмущающих воздействий на манипуляторы при захвате КОКМ. Также исследована возможность дозаправки АКА для увеличения эффективности миссии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вениаминов С. С. Космический мусор – угроза человечеству. 2-е издание, исправ. и доп. М.: ИКИ РАН, 2013. (Сер. Механика, управление, информатика). 208с.
- [2] Kessler D.J. Collisional Cascading: The Limits of Population Growth in Low Earth Orbit // Advances in Space Research, 1991. No.11. P.2637–2646.



Г.А. Щеглов,



Н.Н. Тютюнник,



М.В. Стогний

КОНЦЕПЦИЯ МКА НА БАЗЕ ОТКРЫТОЙ МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

А.Г. Щеглов, Н.Н. Тютюнник, Е.Р. Салиев
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, bauman@bmstu.ru

The concept of a small spacecraft based on open modular architecture. A.G. Scheglov, N.N. Tyutyunnik, E.R. Saliev
Bauman Moscow State Technical University, Russia

На данный момент существуют необходимые условия для перехода к новой архитектуре автоматических КА, которая даст возможность их обслуживания, а также множество иных преимуществ. Такая конструкция должна строиться по принципам киберфизических систем и иметь открытую архитектуру. Настоящая работа посвящена обзору и анализу основных проектировочных решений для автоматических космических аппаратов модульного типа.

Модуль представляет собой функциональный блок простой геометрической формы, выполняющий определенные задачи и обладающий всеми необходимыми интерфейсами для связи с более крупной системой. Благодаря обилию простых электронных компонентов, система, собранная из нескольких таких модулей, «осознаёт» себя, то есть имеет всю необходимую информацию о своём состоянии и спо-

собна им управлять, а каждый её крупный блок может быть заменён на другой без особых сложностей.

Все модули проектируются по принципу соответствия единой размерной сетке: задаются габариты основного блока 1U, размеры всех остальных модулей устанавливаются кратными ему. Таким образом, достигается сеточная структура и частично решается вопрос о единых стыковочных узлах.

Модули объединяются в единую систему КА посредством специальных стыковочных узлов, содержащих механический, тепловой, электрический, а также информационный интерфейсы. Подобное решение обеспечивает единую электрическую систему КА, взаимозаменяемость модулей, а также упрощает сборку аппарата в любых условиях существования (как на Земле, так и на орбите). Среди предложенных оригинальных схем есть варианты как обслуживающего, так и обслуживаемого аппарата.

Анализ различных схем реализации модульной архитектуры показывает, что оптимальным компоновочным решением является объединение модулей в единый аппарат посредством базового структурного модуля, так называемой «шины». Такая компоновка позволяет проводить наиболее эффективное обслуживание аппарата.

Учитывая преимущества модульной архитектуры, блочные варианты КА могут конкурировать с оригинальной (традиционной) компоновкой как вариант проектировочного решения. Несмотря на это, переход к подобной архитектуре требует дальнейшего анализа, но направление кажется весьма перспективным на данном этапе существования космической отрасли и представляет интерес.



СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.А. Дорогов¹, А.И. Маслов^{1,2}, С.В. Шалыга¹, В.Г. Бабашов³

¹АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия,
vpk@vpk.npomash.ru

²МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия, akf@bmstu.ru;

³ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, Москва, Россия, admin@viam.ru

*Modern composite materials and technologies for their manufacture
for structural elements of high-speed aircraft. A.A. Dorogov¹, A.I.
Maslov^{1,2}, S.V. Shalyga¹, V.G. Babashov³*

¹JSC MIC NPO Mashinostroyeniya, Reutov, Russia;

²Bauman Moscow State Technical University, Russia;

³Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research
Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russia

Основное направление эффективности разрабатываемых высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА) – это повышение скорости полета. В настоящее время созданы материалы и технологии изготовления деталей и элементов корпусов высокоскоростных ЛА с температурой эксплуатации длительно до 1500°C и кратковременно до 2000°C. В конструкции корпуса высокоскоростного ЛА радиопрозрачный обтекатель (РПО) в процессе полета подвергается максимальным тепловым и эрозионным нагрузкам высокотемпературного газового потока, а также ударным нагрузкам при противодействии ПВО и ПРО.

Радиопрозрачные обтекатели, обеспечивающие эффективную работу антенных устройств, являются основными элементами корпуса высокоскоростного ЛА.

Материал МСП-К, применяемый в современных конструкциях высокоскоростных ЛА, имеет ограничение по температуре эксплуатации (до 1300°C) и достаточно низкую стойкость к эрозионным воздействиям высокотемпературного газового потока. Современный материал СТМ имеет более высокую температуру эксплуатации (до 1500°C) и стойкость к эрозионному воздействию, однако обладает более низкими физико-механическими характеристиками и ограничениям по габаритам изготавливаемых плоских деталей или элементов конструкций с малой кривизной.

Существующие композиционные материалы достаточно хрупкие, и технология их производства не позволяет изготавливать крупногабаритные РПО, что не позволяет их рассматривать как перспективные материалы для корпусов высокоскоростных ЛА [1].

Как показано в [2, 3], наиболее стойкими к эрозионному воздействию высокотемпературного газового потока и ударным перегрузкам являются объемно-армированные композиционные материалы на основе термостойких непрерывных волн.

Технология создания объемно армированных бесшовных каркасов для оболочек РПО – перспективное направление работ. Современные технологические возможности отечественной промышленности не позволяют изготавливать объемно армированные бесшовные крупногабаритные оболочки требуемых форм для РПО. Наличие технологических швов на заготовках существенно снижает прочностные характеристики материала деталей, что приводит к необходимости увеличения толщины стенки деталей и их веса.

Оболочки РПО с технологическими швами также менее стойки к воздействию эрозионного высокотемпературного потока. Получение бесшовных оболочек позволит значительно повысить характеристики РПО перспективных высокоскоростных ЛА.

Создание материалов и технологии изготовления высокотемпературной матрицы в объемно армированных каркасах является сложной научно-технической проблемой, решение которой позволит разработать и изготовить композиционные материалы для РПО с температурой эксплуатации до 2000°С.

Основными направлениями исследований по созданию и изготовлению крупногабаритных РПО из современных композиционных материалов являются:

- анализ технологических возможностей по созданию крупногабаритных бесшовных каркасов из термостойких волокон;
- обоснование и изготовление специального оборудования для обработки технологии плетения каркасов сложных геометрических форм (цилиндры, усеченные конусы, оболочки двойной кривизны) с требуемой схемой армирования;
- выбор составов для формирования матрицы объемно армированных композиционных материалов на основе разработанных каркасов и проведение исследований свойств материалов;
- разработка технологии формирования матрицы материалов, изготовление заготовок оболочек;
- разработка новых типов непрерывных термостойких волокон для плетения объемно армированных каркасов;

- исследование характеристик полученных материалов.

В настоящее время керамика на основе оксидов алюминия и магния, а также композиционные материалы на их основе остаются основными материалами для производства высокотемпературных РПО высокоскоростных ЛА. Результаты работы являются научно-техническим заданием разработки технологической документации по изготовлению объемноармированных крупногабаритных бесшовных каркасов для радиопрозрачных обтекателей и теплозащитных элементов конструкции корпусов разрабатываемых и перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов. При создании новых тугоплавких непрерывных волокон результаты исследований позволят в кратчайшие сроки разработать технологию изготовления РПО.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Поверхности раздела в современных композитах. Справочник: Под ред. Э. Плюдемана. М.: Мир, 1978. Т.6. С.229-292.
- [2] Современные композиционные материалы. Справочник: Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. М.: Мир, 1978. Т.4. 478с.
- [3] Broutman L.J. Adhesion, 2. p.147-160, 1970.



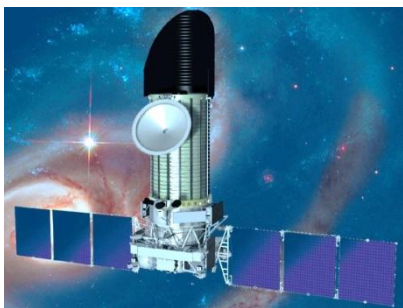
А.А. Дорогов

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВТОРИЧНОГО ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА Т-170М ПРОЕКТА «СПЕКТР-УФ»

*А.В. Зверев, М.Ф. Ильясов,
А.А. Мошнеев, Д.В. Сергеев, А.Е. Шаханов, С.В. Шостак
АО «НПО Лавочкина», Химки, Россия, npol@laspace.ru*

*Ensuring the stability of the geometric characteristics of the working surface of the secondary mirror of the T-170M telescope of the Spectrum-UV project. A.V. Zverev, M.F. Ilyasov A.A. Moiseev, D.V. Sergeev, A.E. Shakhnov, S.V. Shostak
Joint Stock Company "Scientific and Production Association named after S.A. Lavochkina, Khimki, Russia*

Рассматривается процесс решения задачи по обеспечению стабильности геометрических характеристик вторичного зеркала телескопа Т-170М. Описана конструкция оправы, обеспечивающая разгрузку вторичного зеркала, приведены результаты прочностных расчетов, подтверждающих правильность выбранной конструкции.



Внешний вид космического аппарата «Спектр-УФ» представлен на рисунке слева. Основными составляющими приборами комплекса научной аппаратуры проекта «Спектр-УФ» являются: телескоп Т-170М, научная аппаратура «Конус-УФ», блок спектрографов, блок камер поля.

Выявлены причины, приводящие к ухудшению геометрических характеристик рабочей поверхности вторичного зеркала. Ухудшение связано с объемной усадкой клея между элементами оправы и самим зеркалом. Предложены пути решения данной проблемы, позволяющие снизить до допустимых значений величин деформацию рабочей поверхности вторичного зеркала телескопа Т-170М.

АЛГОРИТМ ПОИСКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ СКРЫТЫХ ДЕФЕКТОВ МАТЕРИАЛОВ СИЛОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

К.В. Агафонов

АО «Корпорация «Стратегические пункты управления»,
Москва, Россия, kiris2@mail.ru

*Algorithm for searching and predicting the effects of latent defects in
materials of power metal structures. K.V. Agafonov
Joint Stock Company «Corporation» Strategic Management Points»,
Moscow, Russia*

Техническое диагностирование силовых металлоконструкций является важной задачей промышленной безопасности, а главную роль играет неразрушающий контроль, позволяющий определить фактическое состояние элементов металлоконструкций. Значимость решения задач обеспечения полноты и достоверности оценки значительно повышается для уникальных дорогостоящих объектов, что обусловлено масштабом катастрофических последствий потенциального отказа.

Разработка алгоритма поиска, локализации и прогнозирования воздействия скрытых дефектов позволяет повысить полноту и достоверность оценки путем применения неразрушающего контроля методом акустической эмиссии [1] при техническом диагностировании на этапе эксплуатации с учетом данных, получаемых на этапе создания.

Указанные данные получают для применяемых материалов путем определения наличия и концентрации дефектов с минимальными для акустико-эмиссионного метода линейными размерами при входном контроле. Формируют комплекты образцов различных по степени распространения в них дефектов с последующим проведением экспериментальных исследований процессов развития трещин при разрушении образцов с учетом наличия скрытых дефектов и связи с параметрами сигналов акустической эмиссии с фиксацией акустограмм. Проводят комплекс исследований механических характеристик образцов после разрушения с определением показателей и критериев предельного состояния, при достижении которых начало процесса распространения трещины в заданных условиях фиксируется методом акустической эмиссии [2].

Обработку результатов испытаний целесообразно проводить путем построения P - v диаграмм (зависимость нагрузки от смещения

берегов надразов образцов) с последующим построением акустограмм (распределений сигналов акустической эмиссии по амплитудам, частотам, плотности и другим параметрам) при разрушении образцов с учетом степени распространенности в них скрытых дефектов материалов и связи с параметрами процессов развития трещин.

В процессе обработки результатов испытаний необходимо определение следующих вычисляемых параметров импульсов акустической эмиссии: усредненная частота (отношение количества выбросов к длительности); среднеквадратичная амплитуда импульса (выпрямленное и усредненное на интервале регистрации значение сигнала); отношение длительности импульса ко времени его нарастания. Следует определить зависимости распределения сигналов акустической эмиссии по амплитуде, частоте, плотности и другим параметрам на первых ступенях роста трещины и подрастания трещины в основном металле и сварном соединении.

Последующая идентификация полученных при техническом диагностировании акустограмм и акустограмм, построенных при экспериментальных исследованиях с учетом концентрации скрытых дефектов материала, по основным акустико-эмиссионным параметрам позволяет определять работоспособность и минимальную долговечность конкретной силовой металлоконструкции с учетом скрытых дефектов материалов.

Предложенный алгоритм поиска и прогнозирования воздействия скрытых дефектов материалов силовых металлоконструкций позволит на этапе эксплуатации своевременно определять начало процесса недопустимого развития трещины при техническом диагностировании методом акустической эмиссии с использованием комплекса данных, получаемых на этапе создания уникального дорогостоящего объекта, и оценить работоспособность и минимальную долговечность силовой металлоконструкции с учетом скрытых дефектов материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. - М.: Машиностроение, 2003. - 656 с.
- [2] Агафонов К.В., Гневко А.И., Полянский В.И., Челноков А.В. Исследование влияния скрытых дефектов материалов на техническое состояние и безопасность эксплуатации металлоконструкций подъемно-перегрузочного оборудования // Военно-инженерная корпорация. Российская инженерная академия. Двойные технологии №4 (73) 2015. - С. 60-66.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОГО ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАРСА



Я.М. Курбанов

С.А. Тузиков, Я.М. Курбанов
МАИ, Москва, Россия,
kurbanov_yakub@list.ru

*Development of the design of an unmanned
aerial vehicle for the exploration of Mars.
S.A. Tuzikov, Y.M. Kurbanov
Moscow Aviation Institute, Russia*

Разработка исследовательских аппаратов является многокритериальной задачей [1]. В процессе разработки необходимо учитывать ряд ограничений. Ограничения можно разделить на 2 категории: ограничения в эксплуатации и ограничения при производстве [2]. Первая категория ограничений зависит от условий эксплуатации, а вторая от технических возможностей реализации аппарата.

Решение многокритериальной задачи разработки сводится к выбору параметров, которые могут обеспечить максимальную эффективность при функционировании аппарата при любом из предусмотренных режимов [3]. Для разрабатываемого аппарата необходимо обе категории ограничений выразить при помощи величин, которые должны быть взаимосвязаны [4],[5]. Используя в качестве исходных данных мощность солнечного излучения, конечную массу спускаемого аппарата, аэродинамическое качество исследовательского аппарата, мы можем вычислить геометрические размеры аппарата, плотность материала, массу конструкции и полезной нагрузки [6].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mark Zuckerberg - «The technologies behind Aquila», «Facebook», 2016
- [2] Andrew Cox, Martin Luis Gomez - «Flying Aquila: Early lessons from the first full-scale test flight and the path ahead», «code fabook», 2016 г.
- [3] Philippe Rathle, Dr. Bertrand Piccard, André Borschberg - «Solar Impulse Foundation», 2016 г.
- [4] Григорьев Н.Г. Основы аэродинамики и динамики полета. Москва, 1995
- [5] Noth André - «Autonomus solar airplane for Mars exploration»
- [6] Ефимов - «Основы авиации», МГТУ ГА, 2003 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦИЗИОННЫХ МАЯТНИКОВЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

В.И. Акилин¹, А.А. Смирнов², С.Ю. Денисов²

¹МАИ, Москва, Россия

²ПАО "МИЭА", Москва, Россия, ahtfisher@yandex.ru

Technological methods for improving the accuracy of precision pendulum accelerometers. V.I. Akilin¹, A.A. Smirnov², S.Yu. Denisov²

¹Moscow Aviation Institute, Russia

²Moscow Institute of Electromechanics and Automatics, Russia

В настоящее время к числу базовых бесплатформенных инерциальных навигационных систем для применения в летательных аппаратах различного назначения относятся системы, в которых датчиками первичной информации являются лазерные гироскопы и маятниковые кварцевые акселерометры [1].

Основными параметрами, определяющими точность работы акселерометра, являются: масштабный коэффициент, нулевой сигнал и погрешность базы. Также важными показателями, характеризующими стабильность получаемой с помощью акселерометра измерительной информации, являются такие технические характеристики прибора, как: дрейф нулевого сигнала, нестабильность нулевого сигнала и погрешности базы и нестабильность масштабного коэффициента.

В связи с тем, что конструкция акселерометра является неразборной и после его окончательной сборки не может быть подвержена регулировке, в ПАО «МИЭА» была разработана методика технологической приработки приборов, направленных на стабилизацию их вышеуказанных технических характеристик, которая позволила снизить их нестабильность в несколько раз.

Исходя из исследований температурных изменений нулевого сигнала, масштабного коэффициента и погрешности базы была предложена методика алгоритмической компенсации систематической составляющей температурной погрешности точностных параметров за счёт аппроксимации их полиномом вида

$$y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g,$$

позволяющая повысить точность их работы;

Предложена методика, предполагающая осуществлять контроль выходных параметров приборов через равные промежутки времени при непрерывном изменении температуры в термокамере с испытуемым прибором по алгоритму, задаваемому управляющим устройством автоматизированного рабочего места (АРМ).

Применение предложенной технологии, реализуемой с помощью АРМ, позволило повысить объективность процесса контроля выходных параметров кварцевых акселерометров при воздействии температуры окружающей среды и с большей точностью получать информацию, необходимую для последующей алгоритмической компенсации систематической составляющей их температурной погрешности при работе в составе навигационной системы, методика которой изложена выше.

Выводы:

1. Разработана и проходит апробацию в условиях серийного производства методика технологической приработки кварцевых маятниковых акселерометров, позволяющая существенно снизить среднюю нестабильность их технических параметров.

2. Предложена методика алгоритмической компенсации систематических составляющих температурной погрешности кварцевых маятниковых акселерометров, позволяющая значительно повысить точность работы данных приборов в составе БИНС.

3. Предложена методика контроля выходных параметров прецизионных маятниковых кварцевых акселерометров с помощью автоматизированного рабочего места, позволившая повысить объективность процесса контроля при воздействии на прибор температуры окружающей среды в условиях серийного производства, и с большей точностью получать необходимую информацию для последующей алгоритмической компенсации систематической составляющей температурной погрешности приборов при их работе в составе БИНС.

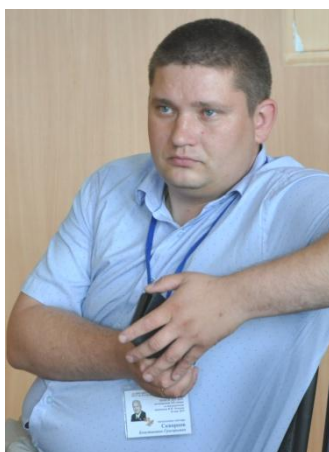
ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кузнецов А.Г., Портнов Б.И., Измайлов Е.А. Разработка и испытания двух классов авиационных бесплатформенных инерциальных навигационных систем на лазерных гироскопах // Гироскопия и навигация. – 2014. – №2 (85). – с. 3 – 12.

ФОРМИРОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ И РЕЗЬБЫ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ МЕТОДОМ ПРОКАЛЫВАНИЯ

Д.А. Федотов, К.Г. Скворцов
АО «Авангард», Сафоново, Россия,
fedotov_da@avangard-plastik.ru

*The formation of holes and threads in the composite material by
piercing. D.A. Fedotov, K.G. Skvortsov*
Avangard JSC, Safonovo, Russia



Объектом исследования настоящей работы являются отверстия, полученные методом прокалывания в еще неотвержденном полимерно-волокнистом материале конструкции. Данная тематика является актуальной так как при получении отверстия традиционными методами в стенке уже отвержденных композитных деталей происходит перерезание нитей и, как следствие, потеря прочности при растяжении материала, растрескивание связующего и расслоение композиционного материала по стенке отверстия [1, 2]. Прокол осуществляется с помощью заостренного стержня – индентора.

Целью исследования является разработка технологии прокола отверстия, нарезание резьбы методом прокола, а также экспериментальное исследование полученных отверстий.

Было разработано специальное приспособление для прокола отверстий различных диаметров в стеклопластиковых плитах толщиной до 30 мм, а также прокалывающие элементы для гладких отверстий и отверстий с резьбой.

Первоначально были проведены испытания образцов на растяжение. Для изготовления пластин была выбрана ткань Т-13П, пропитанная связующим ЭП-5122. Пластины изготавливались на специальном приспособлении, разработанном для прокола отверстия. В центре каждой пластины изготавливались отверстия методом прокола.

Были изготовлены пластины с проколотыми в центре отверстиями диаметром 6; 9; 13; 16; 18 и 20 мм. Из них вырезались образцы: по 1 с проколотым отверстием, 2 образца, у которых отверстия были просверлены и по 2 образца без отверстий. Все образцы подвергались растяжению до разрушения.

Далее были проведены испытания образцов на срез. Для проведения испытаний были изготовлены 5 плит с отверстиями.

Анализ результатов испытаний показал, что разрушающие напряжения на срез у образцов с проколотыми отверстиями в 2-3 раза больше, чем у образцов с просверлёнными отверстиями. Этот результат объясняется тем, что в первом случае нити армирующего материала возле отверстия не перерезаны, а сверление перерезает их. Значительный эффект для отверстий, полученных методом прокола, позволяет рекомендовать технологию получения таких отверстий для внедрения в изделиях, которые в результате внешнего воздействия испытывают значительные срезающие напряжения.

Также были проведены испытания на срез резьбы, полученной в препреге методом прокола. Для получения плит с отверстиями с резьбой были изготовлены прокалывающие элементы, у которых на цилиндрической части нарезана резьба. Для испытаний в отверстия были вкручены болты с соответствующей резьбой. К ним прикладывалась вырывающая сила до разрушения резьбы.

По результатам испытаний были сделаны следующие выводы:

1. Для ткани Т-13П отверстие 20 мм является предельным размером при его проколе. При этом требуется значительная нагрузка для осуществления прокола. При проколе отверстия диаметром 18 мм – подобного не наблюдалось. Отсюда, можно утверждать, что предельное значение отверстия для осуществления прокола находится в пределах от 18 до 20 мм.

2. Для ткани Т-13П отверстия 6 мм и менее не создают концентрацию напряжений возле отверстий в материале стеклопластика.

3. Конструкции с проколотыми отверстиями примерно в полтора раза прочнее по сравнению с конструкциями, у которых отверстия просверлены.

4. Напряжения среза стеклопластиковой резьбы имеют величину равную пределу прочности на срез материала стеклопластика. Таким образом, прокол отверстия с резьбой позволяет достигнуть максимальной величины прочностных характеристик.

5. При испытаниях болт был завинчен без клеевой прослойки. Включение клеевой прослойки, очевидно, поможет увеличить прочность резьбового соединения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Комков М.А. Моделирование процесса формования отверстий в изделиях из неотвержденного полимерно-волокнутого материала / М.А. Комков, А.В. Колганов // Вестник машиностроения МВГТУ им. Баумана, 2004. № 8. С. 15-18.
- [2] Сахоненко С.В. Математическое моделирование напряженно- деформированного состояния препрегов для нахождения максимальных напряжений вблизи проколотого круглого отверстия: диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.- мат. наук: 6.03.09 / С.В. Сахоненко. Минск, 2009. 154 с.



* **

ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

Секция № 2 ММНТК-2019 Аэрокосмические технологии

Руководители секции:



Резник Сергей Васильевич – зав. кафедрой СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор;

Эмри Игорь Осипович – доктор наук, профессор, академик Словенской Академии наук и искусств;

Думанский Александр Митрофанович – зав. лабораторией ФБУН Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, доктор физико-математических наук, профессор каф. СМ-13;

Демидов Владимир Иванович – нач. НИО АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат технических наук, доцент каф. СМ-2 «Аэрокосмические системы»;

Реш Георгий Фридрихович – 1-й зам. нач. отделения АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат технических наук, доцент каф. СМ-2

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ «АКУСТИЧЕСКОГО ВАКУУМА»

Л.И. Маневич¹, В.В. Смирнов¹, И.П. Королева¹,
С.С. Кеворков¹, Р.К. Хамидуллин²

¹ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия,

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

kevorokovss@gmail.com

Forced vibrations of the system in the «acoustic vacuum» mode.

L.I. Manevich, V.V. Smirnov, I.P. Koroleva, S.S. Kevorkov,

R.K. Khamidullin²

¹*Semenov Institute of Chemical Physics, Russia*

²*Bauman Moscow State Technical University, Russia*

В работе рассматриваются вынужденные колебания плоской системы, состоящей из нескольких массивных элементов, соединенных упругой нитью без предварительного растяжения (в режиме «акустического вакуума»). Приведена полученная аналитически амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). Проведено сравнение АЧХ полученной в результате аналитического решения, численного и натурного эксперимента.



С.С. Кеворков

* * *

HIGH PERFORMANCE COMPOSITES IN AEROSPACE APPLICATIONS AND THEIR STRUCTURAL HEALTH MONITORING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

A.Aulova, I.Emri

Center for Experimental Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Ljubljana (Ljubljana, Slovenia)
Alexandra.aulova@fs.uni-lj.si

*Высокоэффективные композиты в аэрокосмических приложениях и мониторинг их структурного состояния с использованием искусственных нейронных сетей. А. Аулова, И. Эмри
Центр экспериментальной механики, машиностроительный факультет, Университет Любляны (Любляна, Словения)*



И.О. Эмри



А.А. Аулова

High-performance composites (HPC) are complex materials consisting of matrix and filler, which have high temperature stability, superior mechanical properties, chemical resistance and attractive price compared to the traditional materials. HPC materials exhibit high strength and stiffness at low weight and represent an alternative to traditionally used materials in aerospace such as aluminum and steel.

For all areas of aerospace industry including space and military applications and transport aircrafts the weight of the vehicle has always been

and stays a problem, which directly affects the fuel consumption and payload capacity. Low values of specific gravity (around 1, compared to 2.8 of aluminum) makes HPC an ideal replacement for metal materials. This is for example reflected in the global market growth [1] of several polymer-based composite aircraft structures (Boeing 787 Dreamliner, Airbus A350).

Polymer based composites have other advantages important for the aerospace sector [2]:

- their manufacturing process allows optimization of the produced parts (fewer components, better aerodynamics, noise reduction and surface finish);
- ability to manufacture parts with complex geometry and anisotropic properties;
- higher fatigue endurance and damage tolerance compared to metals;
- they are resistant to corrosion (with an exception of some epoxy-based composites).

There are however, some drawbacks connected with HPC, such as a complex mechanical analysis of the materials, absence of reliable methods to predict fatigue and failure behavior of the parts, temperature and moisture dependence. These factors require very accurate failure prediction of HPC. Failure of composite parts can be generally attributed to failure of fibers, delamination and failure of matrix.

Failure of fibers can occur as fiber fracture or fiber pull-out and both are described by fracture mechanics. Delamination is considered as one of the most dangerous and difficult to detect of the polymer-based composites [3]. In certain cases delamination occurs in the bulk of material and is not visible on the surface but can be a reason for a failure of the whole structure of the composites [4]. Therefore, constant control of the structure is necessary. The scheduled visual inspections are usually time consuming and expensive, while other methods such as ultrasonic methods, thermography or X-ray are often costly and depend heavily on the operator's skill and experience [3]. Geometrical changes related to the fiber fracture and delamination can be detected and controlled in real time using Structural Health Monitoring (SHM) systems based on different measurement principles – acoustics, strain, optical measurements or other [5]–[8].

The other failure mechanism is related to matrix failure, which also contributes to the change in response of the system. The change of the response is caused by the change of material properties. Changes of material properties can be caused by several factors, the most influential of which are time, temperature and humidity. While time is directly connected to the time of use of a material, temperature and humidity depend on the environ-

mental conditions. For example, flight conditions in airplane between the take off and cruise altitude may differ for up to 70°C, while humidity of the airplane fuselage and wings also changes for 50% and even more in the case of thermal spiking at supersonic speeds [9]. These changes of environmental conditions can cause changes of matrix mechanical properties (and consequently of HPC material) by several orders of magnitude.

While majority of polymer-based composites that are currently in use for aircraft structures are based on crosslinked matrix (i.e. epoxy based composites), there are more and more cases where composites based on thermoplastic matrix are being used. The main advantages of thermoplastic based composites are the possibility to easily repair them if the structure is damaged, manufacturing of structures and parts is easier, and they can be recycled after the use. Materials as polyethersulphone (PES) and polyetheretherketone (PEEK) are referred as advanced matrix resins and in certain conditions surpass traditional crosslinked materials in both temperature and humidity resistance.

However, commodity thermoplastics are also entering the field due to their favourable price compared to advanced resins. For example, semicrystalline polypropylene (PE) is now available in a pre-preg form. It has very low polarity and moisture absorption, however with relatively low glass temperature it is very sensitive to temperature and humidity changes as well as its mechanical properties change with time [9]. Unfortunately, the currently used structural health monitoring (SHM) systems for composite structures do not consider the time- or temperature-related effects on matrix mechanical properties.

SHM systems perform the scientific process of non-destructively identifying damages and failures in the structure [8], which is carried out in four main steps: operational evaluation, data accession, fusion and cleansing, feature extraction and statistical modelling. In the case of polymer-based composites the SHM system measures the signal which is a combination of two signals: one is related to the change of geometry (cracks, delaminations) and the other one is related to changes of mechanical properties of the matrix. They can be related to temperature and humidity variations as well as to the time-dependent changes. In order to separate those signals, one should be able to solve in a real time the problem interrelating excitation, material properties (time-, temperature- and humidity-dependent) and structure response.

Analytical solution interrelating these factors for a complex geometry and custom excitations does not exist. Numerical solution applied to the complex geometry in presence of noise (which makes the problem ill-solved) becomes merely computationally impossible in the real time. Such

ill-posed problems in viscoelasticity are usually addressed by means of regularization method (Tikhonov regularization) [10], or fitting methods [11], [12]. Unfortunately, none of those is applicable for real-time monitoring of complex structure, firstly due to high computational times and secondly, due to required assumption of geometry. Regularization methods are very computationally demanding and need to be embedded into FEM software packages, while application of fitting methods is impossible for complex geometry.

Within this contribution we propose to use artificial neural networks (NN) that are capable of solving ill-posed inverse problems in real time. NN trained on the complex structure in variable environmental and loading conditions to determine time-dependent mechanical properties (creep compliance and relaxation modulus) and their dependence on temperature will be capable of recognizing changes in polymer-based structure.

Artificial neural network was originally defined by Aleksander and Morton [13] as a massively parallel distributed processor that has a natural propensity for storing experiential knowledge and making it available for use. NN do not require exact mathematical description of a process to model it and therefore are of use for complex systems with weak knowledge of physics behind. Another advantage is that once trained, networks deliver results fast with short computational times.

Robustness of the methods (resistance to noise in the signals) and generalization capabilities make neural networks a universal tool [14]. NN were utilized already for modelling behavior of viscoelastic materials of different types, starting from food and finishing with asphalts [15]–[17]. NN were also widely and successfully used in a field of SHM [18]–[21] but effects of temperature and humidity as well as time-dependent effects were not addressed for the composite constructions for aerospace.

Within this work we are proposing a neural network approach for “filtering” out the effects of time- and temperature-dependent effects related to polymeric structures and first steps to assure applicability of neural networks for this use. This paper demonstrates abilities of Radial Basis Function Neural Network (RBFN) to solve the ill-posed inverse problem of obtaining relaxation modulus segment from the constant strain rate tensile test data in comparison to “exponential fitting” technique [6], proved to be effective. Such a case was chosen as a study case, since the closed-form solution for the direct problem is known and training data can be generated artificially. Both methods are validated for robustness (noise resistance) and RBFN is also validated for generalization capabilities (that it can work with data out of training sample).

Acknowledgements. Authors would like to thank Slovenian Research Agency for financial support in a frame of programs P2-0264.

LITERATURE

- [1] *High Performance Composites Market Size | Industry Report, 2018-2025*. .
- [2] H.M. Flower, Ed., *High Performance Materials in Aerospace*. Springer Science & Business Media, 1995.
- [3] G.F. Gomes, Y. A. D. Mendéz, P. da Silva Lopes Alexandrino, S. S. da Cunha, and A. C. Ancelotti, "The use of intelligent computational tools for damage detection and identification with an emphasis on composites – A review," *Compos. Struct.*, vol. 196, no. May, pp. 44–54, 2018.
- [4] D. Chakraborty, "Artificial neural network based delamination prediction in laminated composites," *Mater. Des.*, vol. 26, no. 1, pp. 1–7, 2005.
- [5] K. J. Atherton, C. A. Paget, and E. W. O'brien, "Structural health monitoring of metal aircraft structures with modified acoustic emission," 2005.
- [6] H. Guo, G. Xiao, N. Mrad, and J. Yao, "Fiber optic sensors for structural health monitoring of air platforms," *Sensors*, vol. 11, no. 4, pp. 3687–3705, 2011.
- [7] A. Kesavan, S. John, H. Li, and I. Herszberg, "Real-Time Structural Health Monitoring : A Comparison of Analytical Techniques," 2007.
- [8] V. Rahul *et al.*, "Structural health monitoring of aerospace composites," in *Structural Health Monitoring of Aerospace Composites*, Elsevier, 2015, pp. 1–457.
- [9] P. E. Irving and C. Soutis, Eds., *Polymer Composites in the Aerospace Industry*. Woodhead Publishing, 2015.
- [10] A. Tikhonov and V. Arsenin, *Solutions of Inverse Problems*. Washington D.C.: John Wiley & Sons, 1977.
- [11] M. Gergesova, I. Saprunov, and I. Emri, "Closed-form solution for horizontal and vertical shiftings of viscoelastic material functions in frequency domain," *Rheol. Acta*, vol. 55, no. 5, pp. 351–364, 2016.
- [12] W. G. Knauss and J. Zhao, "Improved relaxation time coverage in ramp-strain histories," *Mech. Time-Dependent Mater.*, vol. 11, no. 3–4, pp. 199–216, Dec. 2007.
- [13] I. Aleksander and H. Morton, *An introduction to neural computing*, 2nd ed. Interntional Thompson, 1995.
- [14] A. Aulova, E. Govekar, and I. Emri, "Determination of relaxation modulus of time-dependent materials using neural networks," *Mech. Time-Dependent Mater.*, vol. 21, no. 3, 2017.
- [15] M. S. Al-Haik, M. Y. Hussaini, and H. Garmestani, "Prediction of nonlinear viscoelastic behavior of polymeric composites using an artificial neural network," *Int. J. Plast.*, vol. 22, no. 7, pp. 1367–1392, 2006.
- [16] M. Oroian, "Influence of temperature, frequency and moisture content on honey viscoelastic parameters - Neural networks and adaptive neuro-fuzzy

- inference system prediction,” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 63, no. 2, pp. 1309–1316, 2015.
- [17] C. Suresh Kumar, V. Arumugam, R. Sengottuvelusamy, S. Srinivasan, and H. N. Dhakal, “Failure strength prediction of glass/epoxy composite laminates from acoustic emission parameters using artificial neural network,” *Appl. Acoust.*, vol. 115, pp. 32–41, 2017.
- [18] H. Teimouri, A. S. Milani, R. Seethaler, and A. Heidarzadeh, “On the Impact of Manufacturing Uncertainty in Structural Health Monitoring of Composite Structures : A Signal to Noise Weighted Neural Network Process,” no. January, pp. 28–39, 2016.
- [19] G. Sarangapani and R. Ganguli, “Detection of local matrix cracks in composite beam using modal data and modular radial basis neural networks,” *ISSS J. Micro Smart Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 127–140, 2017.
- [20] Z. Zhang *et al.*, “Vibration-based assessment of delaminations in FRP composite plates,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 144, no. March, pp. 254–266, 2018.
- [21] O.K. Ihesiulor, K. Shankar, Z. Zhang, and T. Ray, “Delamination detection with error and noise polluted natural frequencies using computational intelligence concepts,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 56, pp. 906–925, 2014.



ДИНАМИКА ДИСКРЕТНОЙ ДВУМЕРНОЙ МЕМБРАНЫ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ

И.П. Королева, Л.И. Маневич

ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия

irakikotx@gmail.com

*Dynamics of a discrete two-dimensional membrane without preliminary tension. I.P. Koroleva, L.I. Manevich
Semenov Institute of Chemical Physics, Russia*

В работе рассматривается нелинейная динамика двумерной мембраны 2×2 без предварительного натяжения. Проанализированы нелинейные нормальные моды редуцированной системы, их устойчивость и возможность энергетического обмена между частями системы. Результаты, полученные при асимптотическом анализе, подтверждаются численным интегрированием исходной нелинейной системы. Данная система может быть использована как высокоэффективная энерголовушка, функционирующая в широком спектре частот.



Королева И.П.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АДАПТАЦИИ ГРАВИТАЦИОННО-КАПИЛЛЯРНОГО РАЗДЕЛИТЕЛЯ ГАЗОВЫХ И ЖИДКИХ СРЕД

Г.Ф. Реш, М.Ю. Иванов

АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия
vprk@vprk.npomash.ru

*The study of the dynamic effect of natural spatial adaptation of the
gravitational-capillary separator of gas and liquid media.*

G.F. Resh, M.Yu. Ivanov

JSC «MIC «NPO mashinostroeniya», Reutov, Russia

Исследован процесс взаимодействия адаптивного пространственного проницаемого капиллярного разделителя фаз [1] с поверхностью раздела газ - жидкость в ёмкости в гравитационном поле Земли.

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено существование естественной силы всестороннего сжатия [2, 3], воздействующей на капиллярный разделитель фаз, которая в классических устройствах компенсируется жёсткостью конструкции [4, 5].

Показано, что в податливой конструкции под действием этой силы в процессе истечения жидкости уменьшается объём капиллярного разделителя фаз, охватываемый газом. За счёт этого возможно поддержание на нём суммарного перепада давления при малых расходах жидкости ниже капиллярного перепада, определяемого известной формулой Лапласа.

Этот эффект позволяет уменьшить остатки жидкости в ёмкости и расширить область практического применения капиллярных разделителей фаз, в том числе на системы отбора, работающих в условиях повышенных ускорений и температур [6].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов М.Ю., Куранов Е.Г., Новиков А.Е., Реш Г.Ф. Экспериментально-теоретическое исследование адаптивного инерционно-капиллярного устройства отбора жидкости // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2018. № 10. С. 94-105.
- [2] Способ выработки топлива из бака летательного аппарата: пат. 2617903 РФ / А.А. Дергачев, М.Ю. Иванов, В.А. Кабанов, Е.Г. Куранов, А.Е. Новиков,

- Г.Ф. Реш, В.А. Большаков, Ю.М. Новиков. Заявл. 17.05.2016; опубл. 28.04.2017. Бюл. № 13. 12 с.
- [3] Реш Г.Ф., Иванов М.Ю., Новиков А.Е., Куранов Е.Г. Способ отбора жидкости из ёмкости с использованием адаптивных инерционно-капиллярных устройств // Актуальные проблемы космонавтики: Труды ХЛП академических чтений по космонавтике, посвящённых памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных учёных-пионеров освоения космического пространства, 23-26 января 2018 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 421-422.
- [4] Багров В.В., Курпатенков А.В., Поляев В.М., Синцов А.Л., Сухоставец В.Ф. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов. М.: УНПЦ «Энергомаш», 1997. 328 с.
- [5] Jagodnikov D.A., Sapozhnikov V.B., Avraamov N.I., Lokhanov I.V., Novikov A.V. Experimental and Methodical Assurance of Studies of Hydrodynamic Processes in Fuel Tanks with Capillary Systems of Cryogenic Component Management // Solar System Research. 2018. V. 52. Issue 7. P. 673-679.
- [6] Устройство забора топлива из бака летательного аппарата: пат. 2666004 РФ / А.А. Дергачев, М.Ю. Иванов, В.А. Кабанов, К.Н. Кузнецов, Е.Г. Куранов, А.Е. Новиков, Г.Ф. Реш, А.А. Богданов, В.А. Большаков, М.Ю. Новиков, Ю.М. Новиков. Заявл. 01.08.2017; опубл. 05.09.2018. Бюл. № 25. 9 с.



М.Ю. Иванов



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА НАДУВНОГО ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Е.Н. Абрамова, С.В. Резник

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
sreznik@bmstu.ru

*Prediction of the thermal regime of an inflatable brake device of a
small spacecraft. E.N. Abramova, S.V. Reznik
Bauman Moscow State Technical University, Russia*

Надувные тормозные устройства (НТУ) могут эффективно использоваться для увода в плотные слои атмосферы малых космических аппаратов (КА), выработавших свой ресурс. Особый интерес представляет применение НТУ для очистки околоземного космического пространства от кластеров малых КА типа CuSat с рабочих орбит, имеющих высоту менее 800 км [1]. Имеющиеся в литературе данные пока не позволяют в полной мере определить параметры НТУ различной формы и размеров, определить рациональные сочетания их геометрических размеров, внутреннего давления и способов разворачивания. Для получения таких параметров целесообразно использовать методы теплового проектирования [2]. Доклад посвящен исследованию тепловых режимов оболочки НТУ КА, совершающего полет по круговой околоземной орбите высотой 300 км.

Представлены варианты проектного облика НТУ, отличающиеся формой, устройством контейнеров для их размещения, способами укладки и развёртывания. Для исследования тепловых режимов принят вариант НТУ в форме тонкостенной сферической оболочки диаметром 6 м, выполненной из алюминизированной полиэтилен-рефталатной плёнки. Плотно упакованная в контейнер, оболочка закреплена на КА, по окончании работы которого она раскрывается, увеличивая площадь поперечного сечения всей конструкции и вызывая торможение. Время, необходимое для спуска, отработавшего КА с заданной орбиты в плотные слои атмосферы, зависит от формы и размеров НТУ.

Тепловой режим оболочки НТУ на низкой околоземной орбите формируется под суммарным воздействием аэродинамических и лучистых тепловых потоков. При моделировании обтекания оболочки свободномолекулярным потоком на высоте 300 км использовалась

программа COMSOL Multiphysics. Параметры потока соответствовали модели стандартной атмосферы [3]. Геометрическая модель представляла собой подобие аэродинамической трубы со сферическим телом внутри. В результате моделирования определены значения плотности теплового потока для условий аэродинамического нагрева в стационарном режиме.

При моделировании нагрева оболочки НТУ потоками излучения, исходящими от Солнца и Земли, использовался модуль NX Space System Thermal программного комплекса Siemens NX. Для определения температурного поля в оболочке в разные моменты времени в этот модуль импортировались данные об аэродинамическом нагреве при свободномолекулярном обтекании.

Полученные результаты необходимы для принятия дальнейших проектных и конструкторско-технологических решений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Финченко В.С., Иванков А.А., Шматов С.И. Проект КА, оснащенного системой удаления космического мусора (аэродинамика, габаритно-массовые характеристики и траектории спуска КА с околоземных орбит) // Вестник НПО им. Лавочкина. – 2018, №1. – С. 10-18.
- [2] Основы идентификации и проектирования тепловых процессов и систем / Алифанов О.М., Вабищевич П.Н., Михайлов В.В. и др. – М.: Логос, 2001. – 400 с.
- [3] ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. – М.: Изд-во Стандартов. – 1981. – 179 с.



Абрамова Е.Н.



* * *

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО УГЛЕПЛАСТИКА ПРИ СКОРОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ *

А.М. Думанский¹, Лю Хао²

¹ Институт машиноведения им. А.А. Благонравова, Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
haoliu@mail.ru

*Prediction and calculation of the anisotropy of the mechanical
properties of unidirectional carbon fiber under high-speed loading.
A.M. Dumanskiy¹, Liu Hao²*

¹Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of
Sciences, Moscow, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Russia



Данная работа посвящена исследованию влияния скорости деформирования образцов однонаправленного углепластика, нагружаемых сжатием под разными углами к направлению армирования. Нагружение выполнялось при скоростях деформации различающихся на несколько порядков. Описанная выше закономерность выявлена у ряда конструкционных углепластиков, в частности [1 - 8]. В большинстве работ при большой сложности проведения испытаний разработка

* По материалам доклада опубликована статья: Лю Хао, Думанский А.М. Прогнозирование и расчет анизотропии механических свойств однонаправленного углепластика при скоростном нагружении. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 1, с. 1-10 <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-1-194>

аналитических методов обычно основывается на выявлении регрессионных зависимостей модуля упругости и прочности от скорости деформирования. Поэтому в данной работе предлагается исследование, основанное на соотношениях наследственной упругости и анизотропной теории упругости.

Используется принцип Вольтерра, основанный на замене упругих характеристик соответствующими операторными выражениями, которые в дальнейшем обращаются с применением фундаментальных свойств резольвентных операторов. Беря в качестве ядра ползучести слабосингулярное ядро Абеля и после ряда преобразований в линейной области получаем определяющее соотношение для описания кривой деформирования при скоростном деформировании

$$\sigma_{\theta} = E_{\theta}^0 (1 - k_{\theta} \mathfrak{Z}_{\alpha}^* (-k_{\theta})) \varepsilon_{\theta},$$

$$\text{где } \mathfrak{Z}_{\alpha}^* (-k_{\theta}) = t^{1+\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta t^{1+\alpha})^n}{\Gamma[1 + (1+\alpha)(1+n)]}.$$

В работе было учтено условие $\alpha = -0,9$, проверенное при обработке и анализе ряда экспериментальных данных.

Выполнено построение расчетных кривых деформирования в линейной области и проведено сопоставление полученных кривых с экспериментальными данными, которые были получены оцифровкой экспериментальных кривых. Показана корректность использования предложенного подхода для описания закономерностей механического поведения при скоростном деформировании.

Показано удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных данных. Дальнейшее направление исследований заключается в обобщении полученных определяющих соотношений, позволяющих учитывать влияние нелинейности кривых деформирования. Возможно обобщение полученных определяющих соотношений использованием нелинейного ядра Работнова. Такой подход приведет к заметному усложнению соотношений, однако может быть развита модель, позволяющая с помощью ограниченного набора параметров описывать анизотропию механических свойств углепластика при различных режимах нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kuhn P., Ploeckl M., Koerber H., EPJ Web of Conference 94, (2015). DOI: 10.1051/epjconf/20159401040
- [2] Jacob G.C., Starbuck J.M., Fellers J.F., Simunovic S., Boeman R.G. , J. Appl. Polym. Sci., pp.296-301 (2004).
- [3] Daniel I. M., Werner B. T., Fenner J. S., Composite Sci. and Technology, pp. 357—364 (2011).
- [4] Koerber H., Xavier P.P., Camanho P.P., Mechanics of Materials, pp. 1004-1019 (2010).
- [5] Rohwer K. , FACTA UNIVERSITATIS. — Series: Mech-l Eng-ng., pp.1-19 (2016).
- [6] Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1977.
- [7] Hsiao HM, Daniel IM, Cordes RD. Experimental Mechanics, pp.72–80 (1998).
- [8] Hsiao HM, Daniel IM, Cordes RD. Journal of Composite Materials, pp. 20–42 (1999).



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ПЕТЕЛЬ



С.А. Дергачев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
sadergachev@mail.ru

*Mathematical modeling of hydrodynamic
loads by the vortex loop method. S.A.*

Dergachev

*Bauman Moscow State Technical Univer-
sity, Russia*

При проектировании конструкций, обтекаемых несжимаемой средой, актуальны методы определения гидродинамических нагрузок. При этом до настоящего времени в практике используются математические модели нагрузок, основанные на упрощенном описании процессов вихреобразования. Совершенствование математических методов моделирования эволюции завихренности является важной и актуальной задачей, поскольку недостаточно полное описание указанных процессов может приводить к принципиально неверным результатам при математическом моделировании динамики и напряженно-деформированного состояния конструкции, а также при оценке безопасности и прочности.

Численные методы вычислительной гидродинамики можно условно разделить на сеточные и бессеточные. Сеточные методы более развиты, обеспечивают решение более широкого спектра задач, но при этом они более трудоемки с вычислительной точки зрения. Среди бессеточных методов можно выделить методы вихревых элементов. Данными методами возможно решение более узкого спектра задач, однако применение таких методов менее трудоемко.

В методах вихревых элементов поле завихренности моделируется набором вихревых элементов. Вихревые элементы характеризуются параметрами положения маркера и вектором суммарной завихренности. Поле скорости в потоке определяется по закону Био – Савара. Далее возможно определение поля давления. Таким образом непосредственно моделируется эволюция завихренности, по эволюции завихренности определяются поля скорости и давления.

Известны два подхода к моделированию обтекания тел методами вихревых элементов: метод дискретных вихрей (вихревых рамок) и метод вихревых элементов. В методе дискретных вихрей необходимо заранее знать линию на поверхности, с которой сходит вихревая пелена. Это удобно для тел типа крыло, но для тел типа сфера, цилиндр или капсула линия схода не очевидна. В методе вихревых элементов априорное задание такой линии не требуется, а вихревые элементы – вихревые элементы сбрасываются со всей поверхности обтекаемого тела. Отрывы моделируются в процессе решения задачи за счет самоорганизации вихревых элементов.

В методе вихревых элементов каждый вихревой элемент, который сбрасывается с поверхности имеет дополнительную завихренность, распределенную в пространстве. Если из таких вихревых элементов собрать рамку, в которой все вихревые элементы имеют равную циркуляцию, то дополнительная завихренность отсутствует. Если вихревые элементы рамки раздвинуть, разорвав связь, то возникает дополнительная завихренность, которая плохо сказывается на результатах расчета нагрузок.

В диссертационной работе [1] описан разработанный метод вихревых петель, в котором вместо отдельных самостоятельных вихревых элементов завихренность предлагается моделировать замкнутыми петлями (ломаными линиями), перемещающимися по полю скорости. При движении петли сглаживаются и могут перезамыкаться в соответствии с эмпирическими алгоритмами. Описан алгоритм и условия генерации петель на поверхности тела, а также алгоритм вычисления давления.

Была проведена верификация алгоритмов эволюции отдельных петель, а также определения гидродинамических нагрузок на различные тела путём воспроизведения явлений и эффектов, описанных в литературе. Использование вихревой петли позволило исключить возникновение дополнительной завихренности в области течения, а также исключить априорное задание мест отрыва потока за счет моделирования процессов образования вихревых петель на всей поверхности обтекаемого тела. Разработан программный комплекс MVortexLoops, в котором, с использованием технологии параллельных вычислений MPI, реализован метод вихревых петель. Программный комплекс обеспечивает эффективное решение практических инженерных задач проектирования конструкций обтекаемых несжимаемой средой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дергачев С.А. Математическое моделирование гидродинамического нагружения капсулы летательного аппарата методом вихревых петель: диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.18 / Дергачев Сергей Александрович; [Место защиты: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана]. - Москва, 2018. - 173 с.

НОВЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ВИХРЕВЫХ МЕТОДАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ



И.К. Марчевский

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
iliamarchevsky@mail.ru

*New computational schemes for solving boundary integral equations in vortex methods of computational fluid dynamics. I.K. Marchevsky
Bauman Moscow State Technical University, Russia*

Рассмотрены различные подходы к решению граничных интегральных уравнений, возникающих при описании процесса генерации завихренности на обтекаемых поверхностях в вихревых методах вычислительной гидродинамики. Обсуждаются особенности математических моделей, возникающих в двумерных и трехмерных задачах, возможности перехода к анализу альтернативных математических моделей, обеспечивающих более высокое качество моделирования соответствующих процессов.

Традиционный подход к обеспечению выполнения граничного условия на обтекаемой поверхности предполагает обеспечение эквивалентного (в рамках рассматриваемых задач) условия равенства нормальных скоростей среды и поверхности, что приводит к граничному интегральному уравнению первого рода – сингулярному с ядром Коши в двумерных задачах и гиперсингулярному с ядром Адамара в трехмерном случае.

Тип уравнения и особенность ядра накладывают жесткие ограничения на качество используемых поверхностных сеток и выбор схем для его численного решения. Тем не менее их точности как правило достаточно при решении задач в тех постановках, когда положения отрывов вихревой пелены на обтекаемой поверхности известны.

Основой идеей, лежащей в основе перехода к новым математическим моделям, является понижения порядка особенности ядра ин-

тегрального уравнения за счет перехода к обеспечению равенства касательных скоростей среды и обтекаемой поверхности. Использование данного подхода в комбинации с методом Галеркина для численного решения интегрального уравнения позволило построить систему расчетных схем, применимых для решения широкого класса задач и позволяющих существенно повысить точность в новых модификациях вихревых методов, когда положение отрыва неизвестно и производится моделирование потока завихренности на всей обтекаемой поверхности [1, 2].

Применительно к решению двумерных задач построена иерархия расчетных схем различного порядка точности; показано, что традиционный метод аппроксимации обтекаемого контура может обеспечивать второй порядок точности, при этом получены точные аналитические выражения для коэффициентов и правой части возникающей системы линейных алгебраических уравнений. Построены также схемы, позволяющие явно учитывать криволинейность обтекаемой границы.

Для решения трехмерных задач построена численная схема второго порядка точности, позволяющая моделировать обтекание тел при описании их формы поверхностной треугольной сеткой. Разработана полуаналитическая технология построения разностного аналога граничного интегрального уравнения, позволяющая вести расчеты на сетках низкого качества – содержащих сильно вытянутые ячейки и ячейки, сильно различающиеся по площади. Численная схема согласована с перспективной моделью генерации и представления завихренности в области течения в виде вихревых петель.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кузьмина К.С., Марчевский И.К., Морева В.С. Определение интенсивности вихревого слоя при моделировании вихревыми методами обтекания профиля потоком несжимаемой среды// Математическое моделирование. 2017. Т. 29, № 10. С. 20-34.
- [2] Марчевский И.К., Щеглов Г.А. Процедура определения интенсивности вихревого слоя при моделировании обтекания тела пространственным потоком несжимаемой среды// Математическое моделирование. 2019 (в печати)

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ФУРЬЕ НА ЗАДАЧИ О КОЛЕБАНИЯХ ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛОСТЯХ НЕКАНОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

В.А. Грибков, Н.С. Дородный

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

zenit-ab@mail.ru

Extension of the scope of application of the Fourier method to
problems on oscillations of a heavy fluid in non-canonical cavities.

V.A. Gribkov, N.S. Dorodniy

Bauman Moscow State Technical University, Russia

Аналитический метод разделения переменных (метод Фурье) применяется при решении задач математической физики и многих прикладных задач [1, 2]. Недостатком метода является ограничение области применения задачами, допускающими полное разделение переменных как в уравнениях, так и в граничных условиях.

В представляемой работе предлагается модификация метода разделения переменных с более широкой областью применения. В область применения модифицированной методики включены односвязные осесимметричные системы произвольной формы (не только формы канонической по Фурье).

Методика предназначена для решения спектральных задач динамики жидкого топлива в баках летательных аппаратов осесимметричной формы. Полагается, что ось бака вертикальна. Жидкость считается идеальной, несжимаемой, тяжелой, обладающей потенциалом, заполняющей бак не полностью, а до некоторого произвольного уровня (до уровня свободной поверхности).

Вокруг исходной области, занятой жидкостью, заданной осесимметричной формы описывается цилиндрическая область. Методом разделения переменных Фурье строится общее решение краевой задачи для цилиндрической описанной области. После чего в отдельных точках выполняются граничные условия на границе заданной области (на смоченной поверхности и на свободной поверхности). Разрешающее векторно-матричное уравнение гидродинамической задачи получается в виде системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов разложения потенциала смещений жидкости. Из условия нетривиального решения задачи получаются собственные частоты и собственные формы колебаний жидкости в полости произвольной формы.

Исследована сходимость предложенной методики решения краевой задачи. В качестве примеров применения методики рассмотрены три системы (три области жидкости). Первая система имеет цилиндрическую форму. Форма второй системы – усеченный конус, сужающийся к верхнему торцу. Третья система имеет полусферическую форму.

Для экспериментальной проверки полученных расчетных результатов использованы данные частотных испытаний. Испытания проводились в лаборатории динамики конструкций кафедры СМ-2 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Совпадение расчетных результатов с экспериментальными – хорошее.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Горшков А.Г., Морозов В.И., Пономарев А.Т., Шклярчук Ф.Н. Аэрогидроупругость конструкций. – М.: Физматлит, 2000. - 592 с.
- [2]. Грибков В.А., Адаменко Р.А. Двумерная модель жидкости для расчета собственных частот колебаний осесимметричных гидрооболочечных систем. Инженерный журнал: наука и инновации, 2017, вып. 3. URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-3-1593>. (дата обращения 14.02.2019).



НЕОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ БАКОВОЙ КОНСТРУКЦИИ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

В.А. Грибков, А.Э. Жашуев, И.Н. Полубарьев, Р.К. Хамидуллин
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
zenit-ab@mail.ru

*Non-axisymmetric vibrations of a tank structure partially filled
with liquid. V.A. Gribkov, A.E. Zhashuev, I.N. Polubaryev, R.K.
Hamidullin*
Bauman Moscow State Technical University, Russia

Собственные динамические характеристики баков, заполненных жидкостью используются при проектировании летательных аппаратов на жидком топливе. Исследованию баковых конструкций летательных аппаратов, заполненных жидким топливом, посвящено значительно количество работ. И сегодня появляются новые материалы исследований динамических свойств баковых конструкций, новые методики решения задач гидроупругости, новые экспериментальные результаты [1, 2].

В представляемой работе в серии экспериментов получены частотно-волновые характеристики модели бака (в форме составной оболочки вращения) при различных уровнях заполнения конструкции жидкостью (водой). Динамические характеристики (собственные частоты и формы) определены для шести уровней заполнения. Составная оболочка имеет два упругих элемента – конический и плоский (днище). Габаритный диаметр модели 580 мм и высота 570 мм.

Рассмотрены окружные формы колебаний гидроупругой системы с числом волн от 2-х до 9-ти. Общее количество найденных собственных частот и собственных форм колебаний – более 50 пар.

В экспериментах использовался ударный метод модальных испытаний. Метод основан на аппаратном выделении собственных динамических характеристик из спектра отклика объекта испытаний на ударное нагружение. Возбуждение колебаний осуществлялось специальным молотком. Измерение параметров колебаний выполнялось миниатюрными акселерометрами, закрепляемыми на наружной поверхности конического элемента модели с равным шагом по дуге окружности.

Расчетные результаты получены по двум численным методикам решения задачи гидроупругости. Первая методика основана на векторно-матричной форме метода возмущений. При этом, для описания оболочечной конструкции бака использовались уравнения линей-

ной моментной теории тонких упругих оболочек В.З. Власова. Жидкость рассматривалась как идеальная несжимаемая невесомая с потенциальным течением. Вторая методика основана на методе конечных элементов и использовании для расчетов программного комплекса ANSYS.

Сопоставление полученных расчетных и экспериментальных частотно-волновых характеристик показало их хорошее согласование. Расхождение собственных частот гидроупругих колебаний – незначительное.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горшков А.Г., Морозов В.И., Пономарев А.Т., Шклярчук Ф.Н. Аэрогидроупругость конструкций. – М.: Физматлит, 2000. - 592 с.
- [2] Бочкарев С.А., Лекомцев С.В., Матвеев В.П. Численное моделирование пространственных колебаний цилиндрических оболочек, частично заполненных жидкостью // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 2. С. 12-24.



А.Э. Жашуев



Р.К. Хамидуллин



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОСТИ МАЯТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В.А. Грибков¹, Я.Д. Гордин²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,

²АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия
zenit-ab@mail.ru

Modern techniques for solving nonlinear stability problems of pendulum systems. V.A. Gribkov¹, Y.D. Gordin¹

¹Bauman Moscow State Technical University, Russia

²JSC «MIC «NPO mashinostroeniya», Reutov, Russia

Проанализированы три наиболее известные методики решения нелинейных задач устойчивости стабилизируемых маятниковых систем. Стабилизация осуществляется колебаниями оси подвеса маятников в вертикальном направлении.

Первая методика предложена академиком П.Л. Капицей, в ее основе – метод усреднения с прямым разделением движения на две составляющие – «быструю» и «медленную».

Вторая методика построена на использовании фазовой плоскости и применения отображения Пуанкаре. Эта методика в настоящее время стала, вероятно, одной из самых популярных при исследовании нелинейной динамики и устойчивости движения механических систем.

Третья методика основана на применении приложения Simulink пакета MATLAB.

Приведены примеры использования указанных методик для решения нелинейных задач устойчивости обращенных стабилизируемых маятниковых систем.

Отмечены особенности, области применения, достоинства и недостатки методик. Выполнено сопоставление результатов расчетов областей устойчивости в линейной [1-3] и нелинейной постановках.

Рассмотрено влияние на стабилизацию статически неустойчивых обращенных нелинейных маятниковых систем уровня вертикальных моногармонических параметрических колебаний оси подвеса маятников.

Проанализировано поведение обращенных маятников внутри области устойчивости при переходе от нижней (квазистатической) границы к верхней (динамической) границе. Показано, что изменение интенсивности параметрического возбуждения приводит к ряду особенностей поведения маятниковых систем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грибков В.А., Хохлов А.О. Устойчивость тройного инвертированного физического маятника из статьи академика В.Н. Челомея 1983 г. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 6. – С. 33–49. DOI: 10.18698/0236-3941-2015-6-33-49.
- [2] Грибков В.А., Хохлов А.О. Экспериментальное исследование устойчивости обращенных стабилизируемых маятников // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. № 2. С. 22-39. DOI: 10.18698/1812-3368-2017-2-22-39.
- [3] Грибков В.А., Гордин Я.Д. О причинах расхождения результатов расчета и эксперимента при определении границ устойчивости обращенных стабилизируемых маятников (по материалам статьи D.J. Acheson, T. Mullin в журнале Nature). Инженерный журнал: наука и инновации, 2017, вып. 2. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-2-1592>.



В.А. Грибков



Я.Д. Гордин

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ КРУГОВОМ ОБТЕКАНИИ В ДОЗВУКОВОМ ПОТОКОМ

А.Ю. Луценко, Д.К. Назарова, Ю.В. Гребенева
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
aulutsenko@mail.ru

*Aerodynamic characteristics of elliptical and combined shells in a
circular flow around a subsonic stream. A.Yu. Lutsenko, D.K.
Nazarova, Yu.V. Grebeneva*
Bauman Moscow State Technical University, Russia

Для расчета траекторий движения и возможных районов падения отделяющихся в процессе полета от ракет-носителей створок головного обтекателя необходимо знание их аэродинамических характеристик во всем диапазоне скоростей движения. Створки могут иметь различные формы. Они могут представлять собой комбинации конических, цилиндрических, тороидальных, а, например, для шар-баллона и сферических оболочек. Поэтому для определения аэродинамических характеристик (АДХ) комбинированных оболочек необходимо знать характеристики их составляющих, которые, в свою очередь, отличаются от АДХ сплошных тел.

Для подтверждения точности и достоверности получаемых результатов в работе в пакете SolidWorks FlowSimulation проведены тестовые расчеты обтекания сферы, для которой есть экспериментальные данные и аналитические решения. Расхождение полученных результатов с экспериментальными данными не превысило 5%, поэтому выбранный пакет с моделью турбулентности $k - \varepsilon$ был в дальнейшем использован для решения задачи обтекания полый оболочки в виде эллипсоида, а также модели переходного отсека ПТК «Федерация», состоящей из комбинации конической, цилиндрической и тороидальной поверхностей.

В работе рассматривалось круговое обтекание в плоскости симметрии $ХОУ$ ($\alpha=0 \div 360^\circ$) сферических оболочек с различными эксцентриситетами в несжимаемом ($M_\infty=0,1$) и сверхзвуковом ($M_\infty=2$) потоках.

Расчет модели тонкостенной оболочки ПТК «Федерация» проведен при малой дозвуковой скорости ($M_\infty=0,1$) в двух программных комплексах Solid Works Flow Simulation и Open Foam.

По результатам работы проанализировано изменение аэродинамических характеристик в зависимости от структуры обтекания сделаны следующие выводы:

- характер изменения АДХ оболочек с ростом угла атаки при до- и сверхзвуковой скорости набегающего потока в целом одинаков;
- АДХ полых и сплошных тел существенно отличаются друг от друга, особенно при обтекании со стороны внутренней полости, хотя в узком диапазоне углов атаки при обтекании со стороны выпуклой поверхности значения АДХ близки;
- при обтекании эллипсоида с ростом эксцентриситета значения коэффициента c_x от угла атаки уменьшаются по модулю, что связано с уменьшением площади поверхности, на которую набегаёт поток, а значения коэффициентов c_y и m_z при увеличении эксцентриситета увеличиваются по модулю;
- структуры обтекания с вогнутой и выпуклой сторон оболочек имеют различия. Это связано с тем, что при обтекании с выпуклой стороны форма оболочки близка к форме соответствующего тела вращения, а при обращении к набегающему потоку вогнутой стороной оболочка становится «плохообтекаемым» телом, схожим по своим характеристикам с плоской пластиной;
- с изменением угла атаки структура течения существенно меняется, что приводит к изменению аэродинамических характеристик. При обтекании моделей во всем диапазоне углов атаки на подветренной стороне наблюдается вихревое течение.



А.Ю. Луценко



Ю.В. Гребенева

* * *

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Секция №3 ММНТК-2019 Аэрокосмические технологии

Руководители секции:



Зубов Николай Евгеньевич – зам. руководителя по науке НТЦ ПАО «РКК «Энергия», декан факультета «Ракетно-космическая техника», доктор технических наук, профессор кафедры ИУ-1 «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Фомичев Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры ИУ-1;

Прохорчук Юрий Алексеевич – зам. начальника ЦКБМ АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ИУ-1;

Плавник Геннадий Гилярьевич – главный научный сотрудник отделения АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат технических наук, доцент кафедры ИУ-1.

РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ МАТЛАВ АНАЛИТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ И ВЫХОДУ *

Н.Е. Зубов^{1,2}, А.В. Лапин²

¹ПАО «РКК «Энергия», Королев, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
Nikolay.Zubov@rsce.ru

*Implementation in the Matlab environment of analytical algorithms
for modal motion control by state and by output. N.E. Zubov^{1,2},
A.V. Lapin²*

¹Research and Development Centre, S.P. Korolev Rocket and
Space Public Corporation Energia, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Russia



В настоящее время в среде Matlab (пакет Control System Toolbox) имеются функции расчёта модальных регуляторов для линейных динамических систем с одним (SIMO-системы, функция «acker») или несколькими (MIMO-системы, функция «place») управляющими входами, основанные на численных методах модального управления. Данные функции не позволяют получать актуальные для систем с переменными параметрами аналитические решения задачи

* По материалам доклада опубликована статья: Лапин А.В., Зубов Н.Е. Реализация в среде MATLAB аналитических алгоритмов модального управления по состоянию и по выходу. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 1, с. 1-16 <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-1-1950>

модального управления. Кроме того, для МИМО-систем численные решения не могут быть найдены при определённой кратности корней в исходном и желаемом спектрах [1-4].

В данной работе рассматривается вопрос программной реализации в Matlab (в качестве дополнения к пакетам Control System Toolbox и Symbolic Math Toolbox) аналитических алгоритмов модального управления, основанных на так называемом методе полного размещения полюсов (ПРП). В рамках метода ПРП выполняется многоуровневая декомпозиция системы с использованием матричных аннуляторов полного ранга (функция «null»), псевдообратных матриц Мура-Пенроуза (функция «pinv»), а также скелетного разложения матриц (функции «tref» или «orth»). Т.к. не все указанные операции могут быть выполнены существующими средствами Matlab в символьном виде (функции «pinv» и «orth» работают только с числами), предлагаемое дополнение включает в себя соответствующие вспомогательные процедуры, пригодные для численного и для аналитического расчёта.

Кроме того, в настоящее время в Matlab нет каких-либо стандартных функций синтеза модальных регуляторов по выходному вектору (при неполной информации о векторе состояния). Таким образом, удобно разработать единую функцию аналитического расчёта модальных регуляторов, в которой одним из аргументов является булев параметр (0 = состояние, 1 = выход). В этой функции при управлении по выходу (при истинном значении булева параметра) согласно развитию идеи Ван-дер-Воуда и внедрению её в метод ПРП предлагается ввести дополнительную процедуру аналитического расчёта (а не назначения) матрицы с желаемым спектром на нулевом уровне декомпозиции. Данная процедура в порядке косвенной рекурсии использует единую функцию аналитического расчёта модальных регуляторов при ложном значении булева параметра, т.е. при управлении по состоянию, но в дуальной постановке.

Предлагаемые аналитические алгоритмы переведены в программный код Matlab и успешно опробованы на ряде задач управления движением, касающихся стабилизации углового положения космических аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Franke M. Eigenvalue assignment by static output feedback – on a new solvability condition and the computation of low gain feedback matrices. *Int. J. Contr.*, 2014, vol. 87 (1), pp. 64–75.
- [2] Fu M. Pole placement via static output feedback is NP-hard. *IEEE Trans. Autom. Contr.*, 2004, vol. 49 (5), pp. 855–857.

- [3] Kaiyang Yanga, Orsi R. Generalized pole placement via static output feedback: A methodology based on projections. *Automatica*, 2006, vol. 42, pp. 2143–2150.
- [4] Nordström K., Norlander H. On the multi input pole placement control problem. *Proc. 36 IEEE Conf. Decision and Control*, 1997. vol. 5, pp. 4288–4293.



ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

И.В. Некрасов

ФГБУН Институт Проблем Управления РАН, Москва, Россия
ivannekr@mail.ru

Features of the construction of production information and control systems at the enterprises of the rocket and space industry.

I.V. Nekrasov.

Institute for Management Problems, RAS, Moscow, Russia

Оперативное управление производственным предприятием является сложной многогранной проблемой. Разнообразие локальных задач, которые необходимо решать для обеспечения деятельности предприятия и которые, в конечном итоге, составляют структурную основу общей проблемы управления производством, исчисляется многими десятками. На современном уровне развития принята стандартная иерархическая модель структуризации задач управления [1], выстраивающая взаимосвязь между стратегическими целями предпри-

ятия и локальными компонентами, осуществляющими их детализацию и пошаговую (тактическую) реализацию (см. рис.1). Заметим, что с точки зрения теории управления, представленная на рис.1 структура является многоконтурной системой управления с замкнутой обратной связью [2].

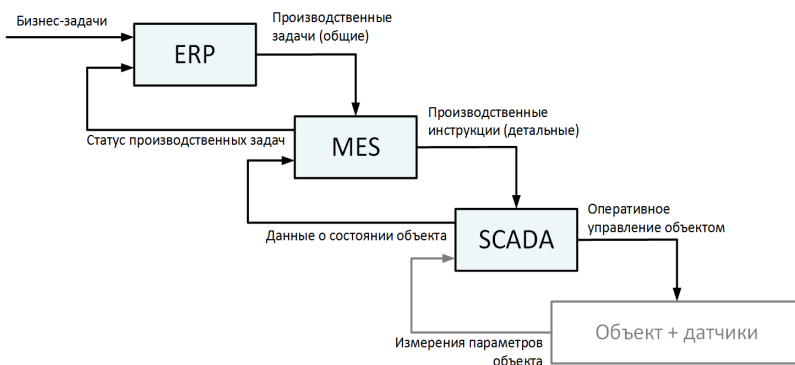


Рис.1. Иерархическая многоконтурная система управления производством.

На рисунке обозначено три укрупненных слоя управления:

- ERP (от англ. Enterprise Resource Planning), отвечающий за высший, стратегический уровень управления и связанный с вопросами глобального финансового целеполагания предприятия [3];
- MES (от англ. Manufacturing Execution System), осуществляющий дробление глобальной цели на локальные технические задачи и реализующий их математическую формализацию и решение [4];
- SCADA (от англ. Supervisory Control and Data Acquisition), на котором решения технических задач уровня MES передаются непосредственно на производственные единицы, а их исполнение контролируется по сигналам обратной связи последних [5].

Следует особо отметить, что детализация задач на уровне MES одинакова для любого вида производства, в то время как их детальные постановки и методы решения определяются конкретной спецификой – в частности, стратегическими целями, сгенерированными ERP-системой. Типовой контур управления предприятием по принципу обратной связи представлен на рис.2.

Различия в постановках задач MES-уровня, во многих случаях, приводят к необходимости значительной модификации математических методов их решения, вплоть до пересмотра расчетных схем и вычислительных алгоритмов.

В настоящей работе проанализирована специфика предприятий ракетно-космической отрасли по сравнению с коммерческим производством и дано сравнение постановок и методов решения основных задач производства.

Резюме проведенного детального сравнения представлено в виде табл.1.

В табл.1 приняты следующие обозначения:

$m = 1, \dots, M$ – номер заказа в исполняемом портфеле, M – общее количество заказов;

t_m – фактическое время завершения m -го заказа;

t_m^* – требуемое время завершения m -го заказа (срок поставки).

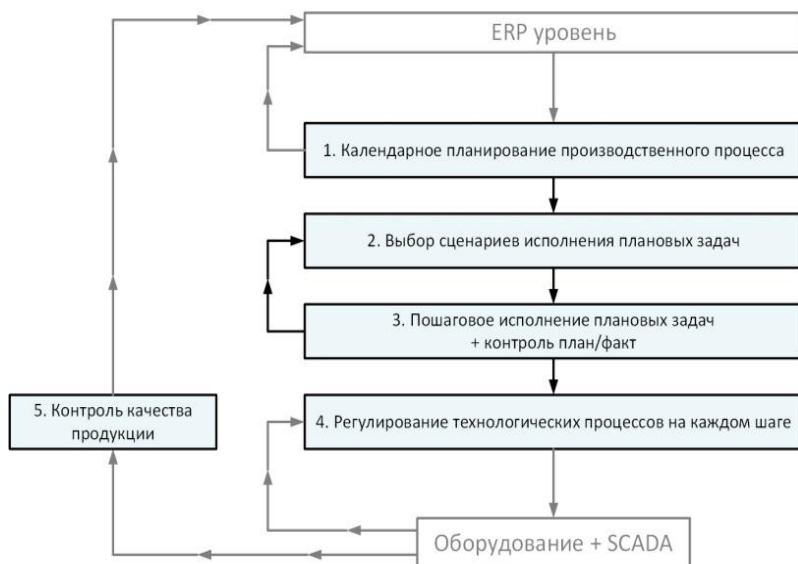


Рис.2. Иерархическая многоконтурная система управления производством.

Таблица 1. Резюме сравнения подходов в задачах управления

№ п/п	Наименование задачи	Коммерческое предприятие	Предприятие аэрокосмической отрасли
	Целеполагание от ERP-системы	<u>Описание:</u> Максимизация рентабельности: т.е. минимизация расходов, максимизация доходов. <u>Детализация:</u> 1. Максимизация доходов: – быстрая переориентация на более востребованную на рынке продукцию; – быстрая реакция на вновь поступающие заказы (в том числе срочные с пересмотром сроков исполнения уже имеющихся заказов); – обеспечение качественного преимущества продукции. 2. Минимизация расходов: – минимизация расхода ресурсов (энергии, сырья, фонда раб.времени и т.п.); – минимизация отходов, в том числе бракованной продукции, остатков и т.п.	<u>Описание:</u> Безусловное выполнение сроков заказа с гарантированным обеспечением качества. <u>Детализация:</u> – выпускается продукция определенного вида, быстрая переориентация не требуется; – стабильная загрузка по объему заказов, спланированная на длительный период, сроки строго фиксированы на весь портфель; – вариативность качества не допускается. – важна ритмичность производственного процесса, равномерность загрузки; – допускается неоптимальный расход ресурсов с целью исполнения сроков.
1.	Календарное планирование	<u>Описание:</u> – Гибкое планирование исполнения пакета заказов, пакет заказов может меняться во времени; – Критерии оптимальности планирования: максимально быстрое выполнение заказов, минимум расходования ресурсов. <u>Формализация:</u> – Задача RCPSP (Resource Constrained Project Scheduling Problem) с критерием [6] $\sum_{m=1}^M t_m \rightarrow \min \text{ (makespan)}$ – Задача ЛП/ЦЛП с линейным критерием	<u>Описание:</u> – Жесткое долгосрочное планирование исполнения заказов, пакет заказов не изменяется во времени. – Критерии оптимальности планирования: точное соблюдение сроков заказа, равномерность загрузки ресурсов. <u>Формализация:</u> – Задача RCPSP (Resource Constrained Project Scheduling Problem) с критерием [6]: $\sum_{m=1}^M t_m - t_m^* \rightarrow \min$ – Задача ЛП/ЦЛП с модульным критерием

2.	Выбор сценариев	<u>Описание:</u> Возможна перегруппировка заказов для разных заказчиков, актуальна задача оперативного перепланирования с учетом незавершенного производства [7].	<u>Описание:</u> Сроки и объемы заказов не меняются, актуальна задача «мобилизации ресурсов» для соблюдения сроков. Задача перепланирования с привлечением дополнительных ресурсов в режиме намерстывания плана.
3.	Пошаговое выполнение	– Задача контроля шагов производственного процесса с целью соблюдения технологии производства. – Задача назначения и переназначения ресурсов с <u>целью минимизации стоимости</u> без отступления от тех.процесса (более дешевое сырье, менее дорогой персонал, оборудование с меньшей производительностью и т.п.).	– Задача контроля шагов производственного процесса с целью соблюдения технологии производства. – Задача назначения дополнительных ресурсов <u>целью ускорения производственного процесса</u> с дополнительным условием запрета отступления от тех.процесса (более производительное оборудование, сверхурочная работа персонала и т.п.)
4.	Регулирование тех. процессов	Отсутствуют различия на уровне постановки и формализации задач. Осуществляется на уровне SCADA.	
5.	Контроль качества	Применение статистического подхода к контролю качества [8], автоматизированное прогнозирование и оценка качества (карты Шухарта [9], выборочная проверка партии, точечный контроль качества последовательности операций).	Тотальный пошаговый контроль качества каждой операции для каждого изделия.

Различия в подходах к формализации производственных задач, а также результаты их численного решения продемонстрированы на элементарном примере сборочного производства с малым количеством операций технологического процесса. При масштабировании обсуждаемых методов на крупные технологические процессы (тысячи и десятки тысяч операций), характерные для аэрокосмической отрасли, ожидается дальнейшее расхождение их результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ANSI/ISA–95.00.01-05. Enterprise-Control System Integration. Parts 1 – 5. // American National Standard by ISA –The Instrumentation, Systems, and Automation Society, USA.
- [2] Зырянов Г.В. Системы управления многосвязными объектами. учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 112 с.
- [3] Дэниел О’Лири. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация. / Пер. с англ. Ю.И. Водяновой. – М.: ООО «Вершина», 2004г. – 272с.
- [4] Heiko Meyer, Franz Fuchs, Klaus Thiel. Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning, and Deployment. – McGraw-Hill Companies, New York, USA, 2009. – 248p.
- [5] Андреев Е.Б., Кунцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. – Москва: Издательство «РТСофт», 2004г. – 176 с.
- [6] M.L. Pinedo. Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. / Michael L. Pinedo. – London – New York: Springer Science + Business Media, 2005, 2007. – 536 p.
- [7] Некрасов И.В., Правдивец Н.А. Усовершенствованная задача оперативного перепланирования загрузки цеха с учётом текущей выработки по назначенным заказам / Материалы 15-й Всероссийской конференции «Управление большими системами» (УБС’2018, Воронеж). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2018. Том 2. – С. 85-90.
- [8] Peter D. Mauch. Quality management: Theory and Application. CRC Press (Taylor & Francis Group). 2010. London - New York. 143p.
- [9] Ребрин Ю.И. Управление качеством: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004г. – 174 с



МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ В ПОТОКЕ УПРУГОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.Ф. Георгиев, Б.Д. Каишфутдинов
г. Москва, МГТУ им Н.Э. Баумана
bkshfutdinov@bmstu.ru

*Methodology for assessing the impact of project parameters of an automatic control system on stability in the flow of an elastic aircraft. A.F. Georgiev, B.D. Kashfutdinov
Bauman Moscow State Technical University, Russia*

Актуальной задачей при создании современных образцов летательных аппаратов (ЛА) является снижение массы конструкции, что влияет на жесткость конструктивных элементов и, зачастую, приводит к уменьшению их жесткости. Известно, что стоимость внесения изменений во внешний облик ЛА возрастает значительно в процессе проектирования (от 5 - 6 раз до нескольких десятков), а в процессе эксплуатации стоимость внесения изменений в сотни раз дороже, чем в самом начале проектирования. Поэтому, важно на самых ранних стадиях проектирования иметь надежные инструменты, которые позволяют исследовать множество вариантов и минимизировать вероятность появления ошибки при принятии конструкторских решений.

Одной из сложных мультидисциплинарных задач, возникающих в процессе проектирования и разработки ЛА, является задача аэросервоупругой устойчивости (взаимодействие упругой конструкции ЛА, системы автоматического управления и потока). Поэтому, возникает острая необходимость в инструменте для решения этой задачи, как на этапе проектирования (выбор проектных параметров), так и на этапе разработки ЛА (проверка конструкторских решений и оценка влияния изменений).

Авторами разработана методика оценки влияния проектных параметров на устойчивость упругого летательного аппарата с системой автоматического управления в потоке, которая легла в основу интеграционного программного комплекса «Аэросервоупругость» (ИПК Аэросервоупругость), позволяющая повысить эффективность работ при проектировании и конструировании ЛА.

Ключевыми особенностями методики являются:

- автоматизация процесса синтеза модели упругого ЛА в потоке с системой управления,
- автоматическая вариации проектных параметров САУ и параметров полета,
- использование в качестве исходных данных существующих на предприятиях (в т.ч. валидированных) моделей аэроупругих ЛА и моделей систем управления,
- оценка устойчивости аэросервоупругих систем в широком диапазоне вариации проектных параметров на всех режимах полета в целом.

Входными данными для ИПК Аэросервоупругость является аэроупругая модель аппарата, подготовленная с помощью пре-процессора Flightloads (признанный стандарт расчетов в области аэроупругости), а также модель системы автоматического управления (САУ), написанная на языке Matlab (стандарт де-факто для разработок САУ) в виде передаточных функций. ИПК Аэросервоупругость позволяет синтезировать аэроупругую модель с системой управления и провести исследование ее устойчивости. ИПК Аэросервоупругость позволяет работать с любой конфигурацией ЛА в широком диапазоне чисел Маха (дозвук и сверхзвук), и любой конфигурацией САУ.

Таким образом, разработана методика решения задач аэросервоупругости, на основе которой создан ИПК Аэросервоупругость, позволяет повысить эффективность работ при проектировании и конструировании ЛА за счет выявления потенциальных проблем еще до проведения дорогостоящих натурных испытаний путем оценки аэросервоупругой устойчивости ЛА в широком диапазоне проектных параметров на всех режимах полета.



Б.Д. Кашфутдинов



СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ И СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Р.П. Симоньянц¹, П.В. Аверьянов^{1,2}

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

Synthesis of spacecraft orientation control and stabilization algorithms without the use of an angular velocity sensor. R.P. Simonyants¹, P.V. Averyanov^{1,2}

¹*Bauman Moscow State Technical University, Russia*

²*JSC «MIC «NPO mashinostroeniya», Reutov, Russia*

Рассматриваются вопросы релейного управления ориентацией и стабилизации космического аппарата без применения датчиков угловой скорости. Для измерения углового положения объекта используется только прибор ориентации (например, звёздный датчик). Исключение ДУС из контура управления приводит к уменьшению потребления энергии и массы приборного состава.

Реализовать экономичную систему управления ориентацией и угловой стабилизации без использования ДУС предлагается за счёт применения алгоритмов импульсного управления. Система управления строится на основе релейного регулятора общего вида с применением специального корректирующего блока в цепи внутренней обратной связи, охватывающей регулятор.

Применение релейного управления позволяет формировать алгоритмы, близкие к оптимальным по критерию быстродействия, при этом в установившемся состоянии возникают автоколебания. В пространстве состояний геометрическим образом автоколебаний является предельный цикл. Задача синтеза экономичного режима стабилизации сводится к поиску таких решений, которые обеспечивают реализацию устойчивых динамических процессов, приводящих к движению в окрестности заданного конечного состояния, соответствующего предельному циклу с максимальным периодом и минимально возможным значением длительности управляющих импульсов.

В 1970-х годах специалистами «Центрального конструкторского бюро машиностроения» (Реутов) и ряда других отечественных и зарубежных организаций были созданы релейные системы управления, в которых в качестве ВОС использовались аperiodические звенья [1, 2]. Применение аperiodической обратной связи (АОС) позволило

реализовать экономичные режимы стабилизации с малой длительностью управляющего импульса в предельном цикле и уменьшить расход топлива. Недостаток применения АОС в контуре управления связан с возникновением нерациональных переходных процессов, протекающих в многоимпульсном скользящем режиме. В работе [3] показана возможность улучшения качества динамических процессов в системе с АОС и предложен алгоритм расчета параметров настраиваемой АОС для достижения квазиоптимального переходного процесса по критерию быстродействия.

В связи с развитием элементной базы систем управления появилась возможность реализации параметрического управления контуром ВОС в цифровой вычислительной машине за счёт изменения его настроечных коэффициентов в процессе управления для формирования требуемой переходной функции ВОС. Поэтому актуален вопрос разработки эффективной методики выбора структуры и параметров ВОС, обеспечивающих удовлетворение требованиям к качеству процессов как в установившихся, так и в переходных режимах.

Задача исследования динамических процессов решается методом численного интегрирования уравнений углового движения КА. Для анализа и синтеза исследуемой релейной системы управления применяется метод диаграммы совмещений (ДС) [4]. ДС представляет координатную плоскость, по оси абсцисс которой откладывается длительность управляющего импульса, а по оси ординат – значение угла. Координатная сетка диаграммы совмещений образуется интегральными кривыми и изоклинами. Интегральные кривые характеризуют угловое движение КА при включенных исполнительных органах (ИО), а изоклины – при выключенных. Для наглядного анализа переходного процесса на ДС строится «лестница», которая позволяет оценить его качество.

Диаграмма совмещений позволяет использовать аналитический подход к исследованию переходного процесса: вычислять точки переключения релейного элемента решением соответствующих уравнений, которые определяются законами углового движения и управления КА, а также переходной функцией ВОС.

Разработан метод аналитического синтеза кусочно-непрерывной переходной функции ВОС для решения задачи поддержания заданной ориентации КА без использования ДУС. Результаты аналитического расчёта параметров ВОС, обеспечивающих требуемое качество динамических процессов, подтверждены численным моделированием.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Самойлов В.Е., Ильин И. П. Исследование релейной системы с аperiodической обратной связью. Методы синтеза нелинейных систем автоматического управления / Под ред. С.М. Федорова. – М.: изд-во Машиностроение, 1970. С. 355 – 388.
- [2] Фролов А.Ф. Динамика релейной системы с аperiodической обратной связью, охватывающей релейный элемент //АН СССР. Автоматика и телемеханика, №8, 1972. С. 15 – 23.
- [3] Симоньянц Р.П., Аверьянов П. В. Синтез релейного управления ориентацией и стабилизацией космического аппарата, обеспечивающий высокое качество без применения датчиков скорости // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. - 2018. - № 3. С. 104-119.
- [4] Симоньянц Р.П. Обеспечение качества процессов управления в релейной системе без датчика скорости // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 10. С. 152-



П.В. Аверьянов



АЛГОРИТМЫ И КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЭМС ДАТЧИКАХ

В.В. Лукьянов, М. Ибрахим

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

ibrakhimm@student.bmstu.ru

*Algorithms and structures of the system of orientation of moving
objects on MEMS sensors. M. Ibrahim, V.V. Lukyanov
Bauman Moscow State Technical University, Russia*



Системы ориентации подвижных объектов (ПО) обладают многими замечательными свойствами, основные из них — автономность и помехозащищенность. Никакое другое средство ориентации не обладает такими свойствами. Наряду с решением основной задачи — определением координат подвижных объектов, системы ориентации выполняют следующие важные функции: выработку векторов скорости и ускорения, относительной скорости, определение курса.

Отсюда понятен тот интерес, который вызывают к себе системы ориентации у специалистов, занимающихся их разработкой. Традиционно для измерения углов ориентации ПО используют датчиков угловых скоростей (ДУС) и акселерометров.

Главным недостатком системы ориентации выполненных на МЭМС датчиках является накопление погрешностей с течением времени. Основными источниками погрешностей системы ориентации являются ошибки ДУС и акселерометров. Необходимая точность при

реализации систем ориентации ПО в настоящее время с успехом обеспечивается применением сигналов от магнитометров и спутниковых радионавигационных систем (СРНС) – GPS (NAVSTAR), ГЛОНАСС.

Для компенсации погрешности используем следующий прием: по разности ускорений, вычисленных в географической СК, (ускорения, вычисленного по показаниям СРНС, и ускорения, вычисленного акселерометрами и приведенными в ГСК) вычисляется погрешность определения углов ориентации, определенных кинематически. К несомненным достоинствам данных систем следует отнести малые габариты и стоимости приемников СРНС. Недостатком глобальных систем позиционирования является ненадежность их работы при неблагоприятных условиях прохождения спутникового сигнала (лесистая и горная местность, высотные застройки и т.д.).

При этом следует иметь в виду, что наибольший эффект в повышении точности достигается при комплексировании измерительных средств, с разнесенными по оси частот спектрами ошибок. Следовательно, для построения рациональных схем и алгоритмов комплексирования информационно-измерительных средств необходимо изучить спектральные характеристики и другие параметры их погрешностей.

В рамках данного исследования рассмотрим два метода: без фильтра Калмана и с фильтром Калмана.



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА



Т.К. Пахомов

3-ья научная рота Космических
войск Российской Федерации
(г. Красногорск)

*Development of a stabilization and
orientation system for an ultra-small
spacecraft. T.K. Pakhomov
3rd scientific company of the Space
Forces of the Russian Federation,
Krasnogorsk*

Доклад посвящается разработке специализированных систем управления ориентацией и стабилизацией для нано- и пико- спутников. Была создана математическая модель бесколлекторного двигателя постоянного тока. На основе анализа конструкции БДПТ были разработаны чертежи компонентов двигателя, его 3D-модель и собран опытный образец. В ходе выполнения работ был разработан блок управления трехфазным бесколлекторным двигателем постоянного тока. Был выбран и программно реализован метод идентификации параметров модели двигателя БДПТ.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ «ПЕРЕВЁРНУТОЙ ОРИЕНТАЦИИ» В РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ КА С НЕЛИНЕЙНЫМИ ДАТЧИКАМИ *



Р.П. Симоньянц, В.А.Тарасов
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
rps@bmstu.ru

*Investigation of the problem of “inverted orientation” of a spacecraft in a stabilization system with relay control and non-linear sensors. R.P. Simonyants, V.A. Tarasov
Bauman Moscow State Technical University, Russia*

Впервые доказано, что при определённых условиях движение за пределами поля зрения датчика угла может привести к аварийной ситуации, связанной с потерей ориентации КА и невозможностью автоматически выйти из этого режима. Аналитически найдены условия, позволяющие проблему решить радикально.

Рассматривается динамика активного управления ориентацией и стабилизации центральных связанных осей относительно орбитальной системы координат [1]. КА имеет диагональный тензор инерции, у которого по тангажу момент инерции максимальный и по крену минимальный. Если в переходном процессе угол выйдет за границы поля зрения датчика, возможны как возврат к штатному режиму автоколебаний, так и переход системы к аварийному режиму «перевёрнутой ориентации». Актуальность проблемы обусловлена необходимостью повышения качества и надёжности управления [2].

Исследования ведутся на основе методов качественной теории динамических систем на плоскости и компьютерного моделирования. Показано, что методы, основанные на применении линеаризованной

* По материалам доклада опубликована статья: Симоньянц Р.П., Тарасов В.А. Исследование проблемы «перевернутой ориентации» в системе стабилизации космического аппарата с нелинейными датчиками. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 1, с. 1-17
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-1-1951>

модели углового движения КА, в рассматриваемой задаче применяться не могут. Выполнена редукция векторного уравнения [3].

Рассмотрено движение в плоскости тангажа без ограничений по углу и скорости. На развёртке фазового цилиндра редуцированная модель представлена тремя листами фазовой поверхности. Границы каждого из них – линии переключения релейного регулятора, которые на развёртке фазового цилиндра представлены кусочно-линейными линиями различной конфигурации.

Показано, что при определённых соотношениях параметров системы структура фазовых поверхностей за пределами поля зрения датчика имеет узкий лист фазовой поверхности, соответствующий свободным движениям с выключенными исполнительными органами. Если в переходных процессах изображающая точка попадает на этот лист, ось минимального момента инерции КА может быть захвачена градиентом гравитационного поля. При этом установится режим устойчивых либраций в положении, когда стабилизируемая ось ориентирована в противоположном направлении (перевёрнута).

Выполнено структурное разбиение фазовых поверхностей на области, в границах которых фазовые траектории приводят объект управления к аварийному режиму – либрациям в окрестности положения устойчивого равновесия. При достаточно малом моменте постоянного возмущения это положение равновесия близко к 180° .

Найдены аналитически нелинейные выражения для сепаратрис – границ области притяжения аварийного режима «перевернутой ориентации». Они получены на основе кусочных интегралов энергии движений на каждом из листов фазовых поверхностей под действием гравитационного, возмущающего и соответствующего значения одного из трёх управляющих моментов. Методом припасовывания сепаратрисы «сшиваются» на линиях переключений в единую границу области аварийного режима.

Аналогичные построения граничных сепаратрис могут быть выполнены и по другим двум каналам управления ориентацией. При этом по каналу крена эффект притяжения к положению «перевернутой ориентации» может выражаться значительно сильнее, поскольку действие на КА гравитационного момента усиливается гироскопическим моментом от угловой скорости орбитального движения. Существенно слабее выражается этот эффект в канале курса, т.к. по курсу гравитационный момент отсутствует, а притягивающее воздействие оказывает один только гироскопический момент орбитального движения.

Для предотвращения аварийного режима «перевернутой ориентации» необходимо в алгоритме управления ориентацией и стабили-

зации КА предусмотреть операцию импульсного перевода изображающей точки из области «перевёрнутой ориентации» в заданную область «номинальной ориентации» относительно осей орбитальной системы координат. Такой перевод можно делать на любом этапе управляемого движения, например на начальном участке движения, когда оба датчика работают в линейной зоне.

Показано, что при релейном управлении ориентацией и стабилизации орбитального КА, если основное воздействие на КА оказывает гравитационный момент, из-за нелинейности датчика угла типа «ограничение поля зрения», могут возникнуть аварийные режимы «перевёрнутой ориентации». Аналитически найдены условия возникновения таких режимов, на основе которых могут быть синтезированы алгоритмы, предотвращающие их возникновение.

Полученные в работе аналитические выражения для границ области притяжения к состоянию перевёрнутой ориентации позволяют сформировать алгоритм управления, позволяющий на основе текущей информации о состоянии объекта управления до выхода за пределы поля зрения датчика угла скорректировать движение таким образом, чтобы выйти из опасной зоны притяжения.

Полученные результаты могут быть использованы также для выбора настроек регулятора, исключающих возможность появления структур поверхностей фазового цилиндра, способных привести к режиму перевёрнутой ориентации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. *Управление ориентацией космических аппаратов*. Изд-во Наука, М.: 1974. 308 с. С. 269 -270.
- [2] Симошняц Р.П., Аверьянов П.В. Синтез релейного управления ориентацией и стабилизации космического аппарата, обеспечивающий высокое качество без применения датчиков скорости // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*. 2018. №3. С. 104 – 119. DOI: 10.18698/0236-3933-2018-3-104-119
- [3] Шильников Л.П., Шильников А.Л., Тураев Д.В., Чуа Л. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Часть 2. – М.- Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», *Институт компьютерных исследований*, 2009. – 548 с.

**О ПРИМЕНЕНИИ ПРИНЦИПА ДИНАМИЧЕСКОГО
ПОДОБИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СТЕНДА ФИЗИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ
ОРИЕНТАЦИЕЙ И СТАБИЛИЗАЦИИ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА***

*Р.П. Симоньянц¹, С.В. Пилипчук², В.В. Шевченко²,
В.Н. Булавкин¹, А.А. Болотских¹*

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, rps@bmstu.ru

² АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

Suppression of the influence of instrumental perturbations by locally invariant scaling of the physical model of angular stabilization of the spacecraft. R.P. Simonyants¹, S.V. Pilipchuk², V.N. Shevchenko², A.A. Bolotskikh¹, V.N. Bulavkin¹

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

² JSC "MIC" Mashinostroyeniya", Reutov, Russia

Разрабатывается одноосный поворотный стенд для физического моделирования процессов управления ориентацией и стабилизации космического аппарата. Показана возможность снижения влияния трения на результаты моделирования применением принципа динамического подобия. Обосновываются требования к составу, характеристикам и конструкции стенда.

Предлагается методика физического моделирования в наземных условиях движения космического аппарата вокруг одной оси. Исследуются основные динамические режимы управления ориентацией и стабилизации. Критерием качества моделирования принято условие достаточной точности воспроизведения сложного предельного цикла, возникающего при релейной стабилизации на свободном участке полёта. Исследуемые динамические режимы в естественном масштабе параметров и переменных могут быть реализованы только при чрезвычайно малой величине диссипации кинетической энергии. Однако в условиях наземного физического моделирования на подвижную часть

* По материалам доклада опубликована статья: Симоньянц Р.П., Пилипчук С.В., Шевченко В.В., Болотских А.А., Булавкин В.Н. Подавление влияния инструментальных возмущений локально инвариантным масштабированием физической модели угловой стабилизации космического аппарата. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 2, 1-21
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-2-1959>

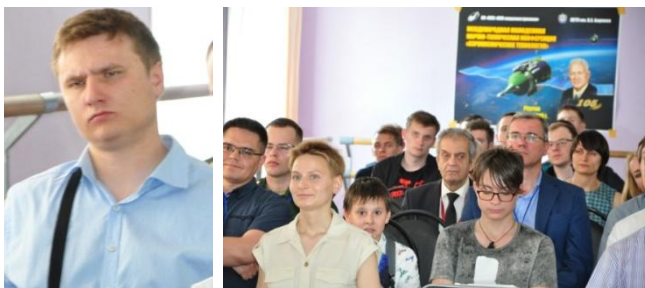
стенда действуют практически неустраняемые возмущающие факторы – трение в оси основания и сопротивление воздушной среды.

Реально достижимый минимум трения для стенда простой конструкции существенно превышает требуемое значение: фазовые траектории предельных циклов претерпевают недопустимо большую деформацию. При этом и параметры моделируемого режима значительно отклоняются от требуемых значений. В наиболее актуальных режимах предельных циклов экономичных автоколебаний с малой длительностью импульса искажения характеристик моделируемого процесса проявляются наиболее сильно, делая стенд физического моделирования практически непригодным для применения.

Решение указанной проблемы негативного влияния трения обычно решается за счет радикального усложнения конструкции стенда за счет применения специальных устройств шарнирного подвеса: 1) воздушная подвеска, 2) магнитная подвеска и др. Применение подобных технических средств, во-первых, резко усложняет стенд и, во-вторых, резко повышает его стоимость. Но даже с их применением нет гарантии достижения цели.

В работе предлагается метод «инвариантного масштабирования», основанный на принципе динамического подобия процессов. Его применение позволяет радикально снизить влияние трения на характеристики физически моделируемых режимов при наземной стендовой отработке алгоритмов управления. Компьютерное моделирование процессов физического моделирования с применением этого метода подтвердило его высокую эффективность.

Проектный анализ разрабатываемого стенда физического моделирования с применением принципа динамического подобия и масштабной инвариантности позволили сформулировать требования к конструктивно-компоновочной схеме, массово-инерционным характеристикам, к измерительным и исполнительным органам лабораторной установки.



С.В. Пилипчук

МЕТОД ТОЧЕЧНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ АВТОКОЛЕБАНИЙ РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ С УЧЁТОМ ПОСТОЯННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ И ЗАПАЗДЫВАНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ *



В.Н. Булавкин

Р.П. Симоньянц, В.Н. Булавкин
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
bulavkin_98@mail.ru

*Analytical construction of relay dynamic
system point mappings taking into account
delays. R.P. Simonyants, V.N. Bulavkin
Bauman Moscow State Technical Universi-
ty, Moscow, Russia*

Наиболее полное исследование динамики релейной системы на фазовой плоскости может быть выполнено методом точечных отображений в сочетании с компьютерным моделированием [1, 2]. Аналитическое построение функций последования вызывает затруднения, поскольку сопряжено с необходимостью отделить лишние корни. Задача осложняется запаздыванием исполнительных органов. В работе исследуется функция последования точечного отображения, ищутся способы отделения лишних решений, определяется область существования решений.

Движение задается уравнением второго порядка при воздействии постоянного внешнего возмущения. Управление осуществляется трёхпозиционным релейным регулятором с гистерезисом. Аргумент релейной функции (управляющий сигнал) линейная комбинация сигналов положения и скорости.

Релейная функция разбивает фазовую поверхность на три листа, границы которых без учёта запаздываний – статические линии переключений. Листы всюду плотно заполнены потоками соответствующих фазовых траекторий.

* По материалам доклада опубликована статья: Симоньянц Р.П., Булавкин В.Н. Аналитическое построение точечных отображений релейной динамической системы с учетом запаздываний. Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 12, с. 1-15 <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-12-1944>

Динамические линии переключений получены сдвигом статических линий вдоль соответствующих фазовых траекторий на время запаздывания. Уравнения учитывают разные значения запаздываний на включение и выключение.

Построены отображения линии без контакта саму в себя фазовыми траекториями одно- и двухимпульсного циклов. Могут быть определены как простые, так и сложные аттракторы. Простым аттракторам соответствуют простые неподвижные точки отображений. Для исследования сложных аттракторов могут быть использованы промежуточные отображения.

Таким образом, решена задача аналитического построения точечных отображений для отыскания простых и сложных предельных циклов в релейной динамической системе с учётом запаздывания ИО и действия постоянного возмущения. По сравнению с известным из литературных источников решением [3], получен более полный результат, что имеет практическое значение при решении задач проектирования таких существенно нелинейных систем, как реактивная система управления ориентацией и стабилизация космического аппарата. Аналитические результаты подтверждены моделированием.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Неймарк Ю.И. *Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний*. Главная редакция физ.-мат. литературы, изд-во «Наука», М., 1972, 472 с.
- [2] Симоньянц Р.П. Квантово-механическая модель динамики релейно-импульсного управления // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*. 2016. № 3. С. 88–101. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-3-88-101
- [3] Гаушус Э.В. *Исследование динамических систем методом точечных преобразований*. Главн. ред. физ.-мат. лит., изд-во «Наука», М., 1976, 368 с.



УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЛЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ДАТЧИКАМИ И ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ *

Р.П. Симоньянц, Б.Р. Худайберген
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
borislav.98@mail.ru

Stability of a relay dynamic system with non-linear sensors and delay under the action of a constant disturbance. R.P. Simonyants, B.R. Khudaibergenov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Влияние нелинейных характеристик датчиков на динамику релейной системы ориентации и стабилизации с учётом запаздываний исполнительных органов в научной литературе отражено недостаточно полно. В работе этот актуальный вопрос изучается с учётом действия постоянного возмущающего момента. Исследуется область устойчивости по начальным условиям. Показано, что в широкой области пространства параметров рассматриваемой системы устойчивость ограничена. Получены аналитические условия устойчивости «в большом», которые были подтверждены математическим моделированием.

Рассматривается редуцированная модель второго порядка при управлении по релейному закону с линейным формированием управляющего сигнала. Угол и угловая скорость измеряются при помощи нелинейных датчиков. Статические характеристики датчиков имеют типичные нелинейности: порог чувствительности и предел линейности (насыщение) по углу и по скорости. Датчик угла имеет ещё одну нелинейность – ограничение поля зрения.

Релейная функция управления также типична, а петля гистерезиса доопределена предысторией – состоянием в предыдущий момент времени. Исследование проводится на развёртке фазового цилиндра методом качественной теории динамических систем второго порядка. Алгоритм управления отображается на фазовой поверхности в виде трёх листов, заполненных потоками фазовых траекторий.

В пространстве параметров регулятора и датчиков существует ряд областей, каждой из которых соответствует определённая конфи-

* По материалам доклада опубликована статья: Симоньянц Р.П., Худайберген Б.Р. Устойчивость релейной динамической системы с нелинейным датчиком скорости и запаздыванием при действии постоянного возмущения. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 3., с. 1-17
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-3-1929>

гурация линий переключения. Ими определяется структура разбиения фазовой поверхности на области с траекториями одного из трёх видов. Из множества возможных структур выделены такие структуры, в которых переходные процессы к устойчивому аттрактору стягиваются не из всех точек начального состояния.

Показано, что существует область начальных условий, из любой точки которой все траектории стягиваются к аттрактору. Границы области определяют устойчивость системы «в большом». Если в процессе движения максимальное отклонение угловой координаты превысит по модулю величину порога поля зрения датчика – объект управления переходит в ротационный режим (режим «кувыркания»), фазовая траектория охватывает всю поверхность фазового цилиндра, система теряет устойчивость.

Задача определения устойчивости «в большом» была сведена к поиску сепаратрис, разделяющих области притяжения и отталкивания. Найдены аналитические выражения, определяющие сепаратрисы. Этот результат получен методом топологического анализа критической ситуации. Рассмотрена особая точка, порождающая сепаратрису. Сепаратриса построена полу-траекторией «попятного» движения из критической точки.

Также исследовано влияние нелинейности типа «насыщение» датчика угловой скорости. Показано, что запаздывание регулятора при таком датчике скорости тоже порождает неустойчивость «в большом». Граница области устойчивости найдена как траектория неустойчивого предельного цикла. Для её определения построено отображение Пуанкаре отрезка линии переключения, соответствующего участку «насыщения» датчика скорости.

Координаты неподвижной точки отображения Пуанкаре легко находятся численно построением на диаграмме Ламерея. Однако для аналитического выражения неподвижной точки и, следовательно, всех прочих параметров неустойчивого предельного цикла отображение Пуанкаре применять нецелесообразно. Поэтому был разработан и применён подход, основанный на принципе зеркальной симметрии.

Показано также влияние предела поля зрения датчика угла: при определённых значениях этого параметра неустойчивый предельный цикл может и не существовать. Тогда область притяжения будет определяться только сепаратрисами.

Таким образом, для рассматриваемой динамической системы определена логика и технология построения границы области устойчивости по начальным условиям.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ СВЕТОСИЛЬНЫХ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ АПЛАНАТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ С АСФЕРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

В.И. Заварзин, Е.А. Белокуров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

evgen_belokurov@yandex.ru

*Image quality assessment of fast aperture two specular aplanatic lenses with aspherical surfaces. V.I. Zavarzin, E.A. Belokurov
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

В практике расчета светосильных зеркально-линзовых объективов одним из важнейших вопросов является выбор оптимальной исходной схемы объектива, позволяющей при минимальном количестве компонентов достигнуть приемлемого качества изображения. При этом критериями качества изображения помимо теоретически достижимого дифракционного предела обычно являются результаты, достигнутые в известных, например по литературным и патентным данным, объективах, имеющих аналогичные оптические характеристики и схожие по числу компонентов схемы. Такой подход к установлению критерия качества изображения рассчитываемого объектива «от достигнутого» при простоте и доступности имеет недостаток неопределенности. Он связан с субъективными моментами привлечения для анализа ограниченного количества известных объективов. Более объективным критерием в этом случае могла служить эмпирическая формула, связывающая оптические характеристики объектива с достигнутым качеством изображения, например, известная зависимость Д.С. Волосова [1] для фотографических объективов, выражающая связь качества изображения, относительного отверстия, углового поля, фокусного расстояния и некоторого коэффициента. Однако в случае светосильных зеркальных и зеркально-линзовых объективов с угловыми полями на порядок меньше фотообъективов эта формула не может быть использована.

Предлагается в качестве практического критерия качества изображения зеркально-линзовых объективов использовать данные по расчету двухзеркальных апланатических систем. Такой подход возможен по следующим причинам: 1. Качество изображения, достигнутое в апланатической системе, может служить практическим критерием для оценки аберрационной коррекции систем с одинаковым относительным отверстием и угловым полем. 2. Сходство габаритных параметров

и коэффициентов экранирования сравниваемых систем. 3. Квaziтождественность оптических схем двухзеркального и зеркально-линзовых объективов с двумя линзовыми компенсаторами, так как использование каждой из двух асферических поверхностей в двухзеркальной системе эквивалентно применению одной линзы.

Двухзеркальные светосильные системы по схеме Кассегрена находят применение в качестве объективов в оптико-электронных устройствах различного назначения. Кроме того, такие системы используются как базовая часть зеркально-линзовых объективов, содержащих линзовые компенсаторы. Поэтому задача расчета двухзеркальных систем представляет практический интерес.

Объектив состоит из первого большого зеркала и второго малого зеркала. Апертурной диафрагмой является оправа первого зеркала. Исходными параметрами при проектировании двухзеркальных оптических систем в этом случае являются: фокусное расстояние, диаметр входного зрачка, расстояние между зеркалами и положение изображения относительно вершины вторичного зеркала.

Предлагается использовать следующую последовательность для расчета двухзеркальных систем с заданными значениями сферической аберрации и отступлением от апланатизма [2]:

1. Определить радиусы кривизны в вершинах первого и второго зеркал. При этом плоскость изображения находится на расстоянии от вершины первого зеркала, численное значение которого может быть найдено как сумма расстояния между зеркалами и расстояния положения изображения относительно вершины вторичного зеркала.
2. Вычислить положение выходного зрачка, как отношение произведения положения изображения относительно вершины вторичного зеркала и расстояния между зеркалами на сумму расстояний между зеркалами и фокусного расстояния, и вспомогательный параметр, связанный формулой с координатами профиля первой поверхности.
3. Определить координаты асферических поверхностей относительно их вершин.
4. Аппроксимировать полученные координаты поверхностей.

Исследования показали, что если ограничиться условием получения аберрационного кружка рассеяния для изображения точки на оси порядка 0,1 мрад, то при числе последовательных членов уравнений асферических поверхностей зеркал равном двум, апланатическая коррекция достигается при относительных отверстиях до 1:1,9, а при трех, четырех, пяти членах – до 1:1,25; 1:0,95 и 1:0,86 соответственно.

Выявление оптимального числа последовательных членов уравнений апланатических двухзеркальных систем позволило рассчи-

тать и исследовать коррекционные возможности объективов с относительными отверстиями 1:0,8; 1:1; 1:1,5; 1:2 и угловым полем в пространстве предметов до 6° . Рассчитаны 40 вариантов систем с различными комбинациями величин расстояния между зеркалами – (0,3...0,6) и заднего фокального отрезка 0,1...0,4 в отношении к фокусному расстоянию. Для исследования взяты системы с расстоянием между зеркалами в указанных пределах, имеющие коэффициент линейного экранирования не более 0,5.

Для более полного анализа рассмотрены объективы, имеющие не только различные величины расстояний между зеркалами, но и отличающиеся расстоянием от вершины первого зеркала до плоскости изображения объектива. В системах с относительными отверстиями более 1:2 для всех исследуемых значений параметров первое зеркало представляет поверхность деформированного гиперboloида, а второе зеркало имеет выпуклую поверхность деформированного гиперboloида или вогнутую поверхность деформированного сплюснутого эллипсоида, причем в области перехода от выпуклой к вогнутой поверхности второе зеркало имеет форму, близкую к planoидной.

Аберрационный расчет вариантов систем показал, что поперечная сферическая аберрация в системах с относительными отверстиями 1:0,82...1:0,8 не превышает 0,04...0,15 мрад, а у большинства систем с относительными отверстиями 1:1...1:2 не превосходит 0,05 мрад. Анализ аберрационных пятен рассеяния на оси и вне оси при угловых полях 4° и 6° в плоскости Гаусса для всех рассматриваемых относительных отверстий исследуемых систем с фокусным расстоянием 100 мм показал, что для двухзеркальных объективов с относительными отверстиями от 1:2 до 1:0,8 возможно уменьшение размера внеосевого аберрационного пятна рассеяния примерно на 40...50% при условии получения равных пятен в изображениях осевой и внеосевой точек предмета. При этом существенно увеличивается предельное угловое поле, при котором размеры пятен рассеяния не превышают определенной величины. Для всех рассматриваемых относительных отверстий систем увеличение заднего фокального отрезка с шагом 0,1 фокусного расстояния при постоянном расстоянии между зеркалами приводит к уменьшению аберрационных пятен рассеяния для внеосевых точек примерно в 1,5...2 раза. При постоянном заднем фокальном отрезке увеличение расстояния между зеркалами с шагом 0,1 фокусного расстояния ведет к уменьшению размера внеосевых аберрационных пятен рассеяния на 10...20%. Такая закономерность проявляется при всех исследуемых относительных отверстиях систем.

Анализ предельных угловых полей, достигаемых в исследованных системах с относительными отверстиями $1:2\dots 1:0,8$, при определенном (1 мрад) размере абберационных пятен рассеяния вне оси в плоскости Гаусса и в плоскости наименьших пятен рассеяния, где пятна рассеяния на оси и вне оси равны и минимальны, показывает, что, например, для системы с относительным отверстием $1:1$, размер пятен рассеяния, равный 1 мрад в центре и на краю поля достигается при полях до $4^0 12'$, то есть предельное угловое поле возрастает примерно в 1,5 раза по сравнению с полем системы, в которой исправлено изображение точки на оси.

Результаты исследования позволяют выбирать габаритные параметры светосильных двухзеркальных систем, исходя из заданных относительного отверстия, поля и допустимых размеров абберационных пятен рассеяния. Достигнутое качество изображения объектива выражается произведением относительного отверстия, коэффициента учета асферических поверхностей, углового поля, фокусного расстояния и некоторого коэффициента. Анализ полученных значений достигнутого качества изображения для каждой из систем колеблется вблизи значений 0,016-0,059, если фокусные расстояния выражать в миллиметрах.

Вывод: Практика расчета большого количества (более 40) двухзеркальных объективов с асферическими поверхностями и различными конструктивными параметрами позволила получить (уточнить) эмпирическую формулу, связывающую оптические характеристики объектива с достигнутым качеством изображения. Применение данной эмпирической формулы позволяет на начальном этапе проектирования оптической системы определить взаимосвязь конструктивных, габаритных и абберационных параметров разрабатываемых оптических систем, что ускоряет получение окончательного варианта системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волосов Д.С. Фотографическая оптика: (Теория, основы проектирования, оптич. характеристики). Учеб-пособие для киновузов. - 2-е изд. - М.: Искусство, 1978. - С.295-301.
- [2] Заварзин В.И. Расчет оптических систем с заданным значением сферической абберации и требуемым изопланатизмом. / Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». -2003. -№3. – С 29-43.

РАСЧЕТ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА С ЗЕРКАЛОМ МАНЖЕНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В.И. Заварзин, А.И. Лотов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

lotow.aleksander@yandex.ru

*Calculation of a mirror-lens objective for observing outer space
using a Mange mirror. V.I. Zavarzin, A.I. Lotov*

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Сложившаяся космическая обстановка и увеличивающаяся заселенность околоземного космического пространства требуют постоянного совершенствования технических средств мониторинга космоса. В качестве последних применяются средства, основанные на различных физических принципах. К ним относятся радиолокационные, радиотехнические, квантово-оптические и оптические средства.

В последние десятилетия широкое распространение получили оптико-электронные средства (ОЭС) мониторинга, решающие важную задачу пассивной оптической локации космоса. К несомненным достоинствам ОЭС относятся большая дальность действия, высокая точность измерений, относительная простота построения, высокая информативность и оперативность работы. Одним из наиболее важных составляющих ОЭС является объектив, который во многом определяет основные характеристики ОЭС.

Рассмотрена методика расчета зеркально-линзового объектива для контроля космической обстановки, состоящего из последовательно установленных по ходу лучей двухлинзового афокального компенсатора в параллельных пучках лучей, главного зеркала в виде линзы Манжена, контрзеркала, в качестве которого служит последняя поверхность компенсатора и афокального компенсатора в сходящихся пучках лучей.

Методика расчета оптической схемы разработана из условий не только исправления монохроматических и хроматических аберраций, но и соблюдения заранее заданных соотношений между параметрами, характеризующими особенности и габариты системы.

Применение разработанной методики в практике проектирования оптических систем позволяет расширить количество анализируемых схем, повысить качество изображения окончательного варианта и ускорить процесс проектирования аппаратуры контроля космического пространства.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ХРОМАТИЗМА ПОЛОЖЕНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ ВТОРИЧНОГО СПЕКТРА В СРЕДНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ

В.И. Заварзин, Н.С. Рязанкин
г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
nik.cheba@gmail.com

The choice of materials to correct the chromaticity of the position and minimize the secondary spectrum in the mid-IR range. V.I. Zavarzin, N.S. Ryazankin
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Для достижения ахроматической степени коррекции аберраций в спектральном диапазоне 3,5 - 5,5 мкм был проанализирован каталог «Infrared» из программного пакета Zemax [1, 2, 3], в котором присутствуют материалы зарубежных компаний, такие как IRG-100, KRS-5, AMTIR-1, а также специальные материалы, применяющиеся для работы в ИК-диапазоне, среди которых лейкосапфир, кремний, германий, селенид цинка, арсенид галлия и другие. В общей сложности были рассмотрены 23 материала.

Исходя из условия, что сумма нормированных оптических сил для тонкого двухлинзового объектива равна 1, и условия хроматизации, можно найти оптические силы каждого из компонентов. Из этого следует, что оптические силы элементов должны быть противоположных знаков. Решение у такой системы есть только том в случае, когда дисперсии не равны друг другу и оптические силы пропорциональны дисперсиям материалов. Поэтому при синтезе двухлинзового несклеенного объектива дополнительно было задано условие равенства нулю аберрационных параметров Р и W. В процессе расчета обращали внимание на величину вторичного спектра. Определяя вторичный спектр через относительную дисперсию, получим, что для минимизации этой аберрации относительные дисперсии материалов должны быть близки, в идеальном случае равны [1].

В процессе исследования были синтезированы двухлинзовые несклеенные объективы с различными комбинациями материалов: комбинации различных показателей преломления, комбинации дисперсий и относительных дисперсий. После детального анализа полученных оптических систем, были сформулированы следующие общие рекомендации по выбору материалов:

1. Первый материал должен быть с дисперсией больше, чем у второго, и с показателем преломления меньше чем у второго, в противном случае при синтезе получаются нетехнологичные крутые радиусы кривизны оптических элементов.
2. Оптическая сила первого элемента должна быть положительной, а второго – отрицательной, при этом оптическая сила первого элемента должна быть больше по модулю.
3. Низкодисперсные материалы, такие как лейкосапфир, фтористый кальций, оксид магния, фтористый литий, не рекомендованы к использованию, поскольку в этом случае при синтезе возникают крутые нетехнологичные радиусы.
4. Высокодисперсные материалы, такие как бромид цезия, кремний и KRS-5, можно использовать только с аналогичными высокодисперсными материалами, однако в процессе синтеза необходимо следить за крутизной радиусов оптических элементов.
5. Среднедисперсные материалы могут быть использованы с учетом близких значений относительной дисперсии для минимизации вторичного спектра.
6. Комбинации материалов с высокой и низкой дисперсией не рекомендованы к использованию, поскольку при синтезе возникают нетехнологично крутые радиусы и величина вторичного спектра на порядки больше по сравнению с материалами из близких по дисперсиям материалов.

Вывод: По результатам проведенных исследований рекомендуются к использованию среднедисперсные материалы с близкими относительными дисперсиями для ахроматизации и минимизации вторичного спектра. Парами таких материалов могут быть: AgCl–GaAs, KRS-5 - GaAs, AgCl - IRG-100, AgCl - ZnSe, KBr - ZnS, ZnSe - CdSe, CdSe - GaAs, AgCl - AMTIR-3, KRS-5 - AMTIR-1, KRS-5 - AMTIR-3. У каждой из этих пар разницы в относительных дисперсиях невелики, что дает значение вторичного спектра для заданной системы от 3 до 20 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Можаров Г.А. Теория aberrаций оптических систем: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 288 с.
- [2] Слюсарев Г.Г. Методы расчета оптических систем. – Л.; Машиностроение, 1975. – 640 с.
- [3] William D. Rogatto. The Infrared and Electro-Optical System Handbook. Electro-Optical Components. Volume 3. – Infrared Information Analysis Center, 1993. – 666 p.

РЕЖИМЫ РЕЛЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Р.П. Симоньянц¹, П.В. Аверьянов^{1,2}, Д.А. Авдяков²,
С.В. Пилипчук², И.В. Юхновец¹, Б.Р. Худайберген¹,
В.Н. Булавкин¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, rps@bmstu.ru

²АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

*Modes of relay control of the orientation of the spacecraft without
the use of angular velocity sensors. R.P. Simonyants¹, P.V.
Averyanov^{1,2}, D.A. Avdyakov², S.V. Pilipchuk², I.V. Yukhnovets¹,
B.R. Khudaibergenov¹, V.N. Bulavkin¹*

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²JSC «MIC «Mashinostroyeniya», Reutov, Russia

Проблема релейной стабилизации без применения датчиков угловой скорости (ДУС) возникла ещё в 60-х годах 20-го века при создании космических аппаратов (КА). ДУС – сложные приборные устройства, снижающие надежность системы, повышающие её массу, габариты и потребление энергии. Попытки создать релейно-импульсные системы, в которых без использования ДУС обеспечивалось бы требуемое качество динамических процессов, предпринимаются уже давно. Шумы и нелинейности датчика угла в общем случае не позволяют получать информацию об угловой скорости дифференцированием его сигнала. Поэтому повышение качества системы стремятся обеспечить за счет дополнительной информации, формируемой внутри неё [1 – 6].

Широкое распространение в мире получили аналоговые системы без ДУС с апериодическим звеном в цепи обратной связи (АОС) релейного регулятора. Первые публикации о применении АОС для стабилизации КА без ДУС относятся к 1961-72 годам. Такие системы отличаются высокой надежностью и экономичностью автоколебаний с малой длительностью управляющих импульсов, но реализуемые в них переходные процессы не удовлетворяют жестким требованиям по экономичности, точности и быстродействию. В то же время, благодаря простоте и надёжности, эти системы и различные их модификации находят применения и в настоящее время, например, системы с широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляцией (ШИМ и ЧИМ). В них трёхпозиционный релейный регулятор с гистерезисом, который в иностранной литературе именуется триггером Шмитта, либо охвачен

АОС, либо содержит апериодическое звено на входе как фильтр, либо и то, и другое одновременно [4].

В рассматриваемой системе управления ориентацией и стабилизации с неполной информацией в контуре управления вместо датчика угловой скорости (ДУС) применяется внутренняя обратная связь общего вида (ВОС), в качестве которой может использоваться бортовая ЭВМ или микропроцессор. Формирование сигнала ВОС осуществляется методом диаграммы совмещений (ДС) [5, 6], основу которого составляет положение об однозначном соответствии качества режимов релейного управления и характеристик переходной функции ВОС.

Решается задача синтеза алгоритмов формирования переходной функции ВОС, обеспечивающих удовлетворение заданным требованиям качества основных динамических режимов управления ориентацией и стабилизации КА. Исследуются соответствующие ей переходные и установившиеся режимы движения КА.

Подтверждены основные теоретические положения метода ДС, в соответствии с которыми при надлежащем выборе переходной функции ВОС может быть обеспечено: 1) полное отсутствие скользящих режимов; 2) близкие к оптимальным по быстродействию переходные процессы; 3) максимальная экономичность режимов автоколебаний.

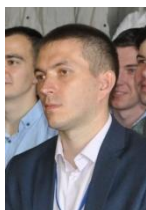
На основе метода припасовывания кусочно-непрерывных аналитических решений разработана программа моделирования редуцированной плоской модели движения, применение которой существенно упрощает технологию графоаналитических построений динамических процессов на ДС.

Для численного моделирования динамических режимов в рассматриваемой релейной системе управления реализована компьютерная модель, позволяющая формировать переходные функции ВОС с наперед заданными характеристиками. С помощью этой модели реализуются переходные и установившиеся режимы управления в системе, синтезированной на основе ДС. Выполнено множество численных экспериментов, подтвердивших достоверность полученных методом ДС результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Nicklas J.C. and H.C. Vivian*, Derived-rate Increment Stabilization: Its Application to the Attitude-control Problem, presented at the Joint Automatic Control Conference, Boulder, Colo. June 28-30, 1961.

- [2] *Попов М.В.* Использование аperiodической обратной связи в системе стабилизации ИСЗ. Механика космического полёта. /Сб. статей под ред. В.В. Добронравова. –М.: изд-во Машиностроение, 1969. - с. 194 – 204.
- [3] *Фролов А.Ф.* Динамика релейной системы с аperiodической обратной связью, охватывающей релейный элемент //Автоматика и телемеханика. 1972. № 8. С. 59-69.
- [4] *Chegeni E., Zandieh M., Ebrahimi J.* Attitude Control of Satellite With Pulse-Width PulseFrequency (PWWF) Modulator Using Generalized Incremental Predictive Control // Majlesi Journal of Electrical Engineering Vol. 8, No. 3, September 2014, p. 25 – 31
- [5] *Симоньянц Р. П., Аверьянов П. В.* Синтез релейного управления ориентацией и стабилизацией космического аппарата, обеспечивающий высокое качество без применения датчиков скорости // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. - 2018. - № 3. С. 104-119.
- [6] *Симоньянц Р. П.* Обеспечение качества процессов управления в релейной системе без датчика скорости // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 10. С. 152-178.



П.В.Аверьянов



С. Пилипчук



И. Юхновец



Б. Худайбергенов



В.Булавкин



* * *

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Секция №4 ММНТК-2019 Аэрокосмические технологии

Руководители секции:



Котенёв Владимир Пантелеевич –
– начальник НИО АО «ВПК «НПО машиностроения», доктор технических наук, профессор каф. ФН-11 «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана



Бондаренко Леонид Александрович –
– ведущий научный сотрудник отдела АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат физико-математических наук, доцент кафедры СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана

**ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ МОНИТОРИНГА
АЭРОЗОЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ
ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ
ДАННЫХ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И
ЛОКАЛЬНОГО ЗАБОРА ПРОБ ***

А.В. Колготин

АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия
alexiefert@yahoo.com



*Validation of aerosol pollution monitoring in the atmosphere by means of comparison of the results retrieved from lidar data and measured in situ. A.V. Kolgotin
JSC "MIC" Mashinostroyeniya",
Reutov, Russia*

Опубликованы данные, полученные в ходе крупномасштабной кампании ORACLES, проведенной в 2016 г. с использованием одновременно локальных и дистанционных (лидарных) методов измерения атмосферных аэрозолей. В работе выполнена обработка данных лидарного зондирования, включающих коэффициенты обратного рассеяния аэрозолей на длинах волн 355, 532, 1064 нм и коэффициентов ослабления аэрозолей на 355, 532 нм. Зондирование проводилось с использованием лидара высокого спектрального разрешения авиационного базирования. Для обработки лидарных данных применялся специально разработанный регуляризирующий алгоритм, позволяющий восстанавливать микрофизические и оптические параметры аэрозолей.

В рамках кампании ORACLES оптические и микрофизические параметры аэрозолей также определялись путем локального забора

* По материалам доклада опубликована статья: Колготин А.В. Оценка достоверности мониторинга аэрозольных загрязнений в атмосфере путем сравнения результатов обработки данных лидарного зондирования и локального забора проб. Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 11, с. 1-12 <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-11-1936>

проб с борта самолета. Локальные и лидарные измерения были одновременно совмещены в пространстве и времени. Полученные локальные измерения использовались для контроля точности и достоверности результатов обработки данных лидарного зондирования регулирующим алгоритмом.

Выполнена обработка данных лидарного зондирования, включающих набор коэффициентов $3\beta+2\alpha$ и измеренных в рамках кампании ORACLES 12, 20 и 24 сентября 2016. Для обработки данных использовался специально разработанный регулирующий алгоритм, позволяющий восстанавливать распределение аэрозолей по размерам, эффективный размер, количественную концентрацию, комплексный показатель преломления и др. микрофизические и оптические параметры.

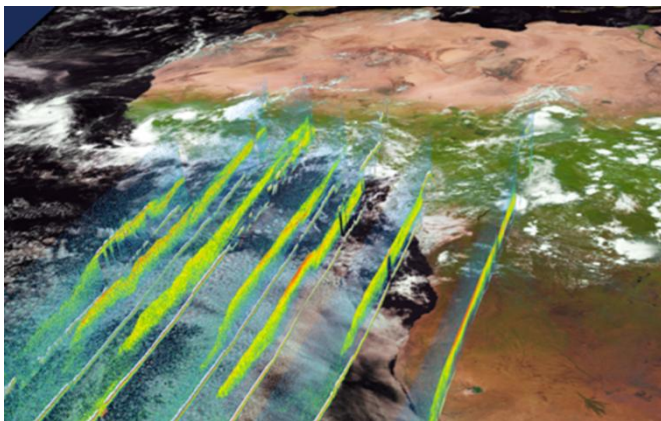


Рис. Эскиз кампании ORACLES
(<https://espoarchive.nasa.gov/archive/browse/oracles>)

Показано, что достоверность результатов, полученных регулирующим алгоритмом, достигает 90 %, точность оценки эффективного размера, количественной концентрации и объёма – $\pm 25\%$, реальной и мнимой части комплексного показателя преломления – ± 0.05 и ± 0.005 соответственно, альбеда однократного рассеяния ± 0.05 .

ВЫСОКОТОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Ан.П. Соколов

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

sokolo@intsys.msu.ru



*High-precision simulation of the motion of spacecraft. An.P. Sokolov
Lomonosov Moscow State University, Russia*

Необходимость построения высокоточных моделей движения космических аппаратов (КА) возникает в различных научных и прикладных задачах, таких как навигация, гравиметрия, радиолокационная и оптическая разведка и многих других.

В докладе приводятся результаты, которые были достигнуты в области построения высокоточных моделей движения, применительно к навигационным средневысотным геостационарным космическим аппаратам систем GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo [1, 2].

Данные спутниковые системы были выбраны по причине наличия в открытом доступе высокоточной апостериорной информации о положениях КА в земной системе координат. Тем не менее, разработанные математические модели и методы применимы и к другим типам орбит (низковысотные, геосинхронные, эллиптические).

В процессе функционирования космические аппараты навигационных систем в реальном времени передают потребителям оперативную эфемеридную информацию, соответствующую текущему моменту времени, которая содержит высокоточные данные о параметрах орбиты (модель движения) и шкалы времени навигационного КА. Данная информация необходима для решения потребителем задачи определения местоположения (навигационная задача). При этом от точности оперативной эфемеридной информации напрямую зависит

точность решения потребителем навигационной задачи. Таким образом, потребителю в каждый момент времени необходимо иметь как можно более точную оперативную эфемеридную информацию.

Оперативная эфемеридная информация, передаваемая КА в составе навигационных сообщений, имеет ограничения по «сроку годности». Ниже приведены «сроки годности» оперативной эфемеридной информации и соответствующие им точности определения положения навигационного КА (СКО координат):

ГЛОНАСС - 0.5 часа/(0.8-2.4)м;

GPS/Galileo/BeiDou - 4 часа/(0.9-2.7)м.

Возник вопрос, можно ли построить высокоточную модель движения, которая бы имела одновременно более высокие точности прогнозирования и более длительный «срок годности».

Была разработана высокоточная динамическая модель движения космических аппаратов, которая позволили добиться следующих точностей прогноза координат навигационных КА (СКО координат): 0 суток (интервал оценивания)/0.07 м; 3 суток / 2.4 м; 7 суток /11.5 м; 14 суток / 40.0 м.

Разработанная динамическая модель движения КА по уровню своих точностных характеристик близка к передовым разработкам таких компаний, как JPL NASA (США), uBlox (Швейцария), RxNetworks (Канада) и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интернет-сервер <ftp://ftp.qlonass-iac.ru>.
- [2] Интернет-сервер <http://data.iers.org>.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОРРЕКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТНОЙ РАКЕТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ АЛГОРИТМОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

А.В. Сулимов¹, П.М. Шкапов², В.Д. Сулимов²

¹ Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова, Севастополь, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Mathematical modeling and correction of liquid rocket parameters using hybrid global optimization algorithms. A.V. Sulimov¹, P.M. Shkapov², V.D. Sulimov²

¹*Branch of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Sevastopol, Russia*

²*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

Современные подходы к исследованию сложных аэрокосмических систем основаны на применении методов математического моделирования и компьютерных технологий, реализуемых на специализированных платформах [1, 2]. Одной из основных проблем является исключение резонансных режимов, способных привести к нежелательным повреждениям [3]. Вычислительные технологии предъявляют высокие требования к характеристикам аналитических моделей. Накопленный опыт показывает, что прямое моделирование реальных систем, как правило, не обеспечивает требуемое качество соответствующих моделей; при этом возникает необходимость коррекции моделей с целью более точного описания динамики систем [4]. Технологически важной составляющей процесса уточнения конечно-элементных моделей космических аппаратов является процедура редукции модели [5]. Актуальным направлением исследований является разработка эффективных численных методов коррекции моделей систем с использованием модальных данных, полученных при измерениях [6, 7]. Процедуры коррекции существенно связаны с формулировкой и решением соответствующей обратной задачи на собственные значения [8]. Реализация процедур коррекции моделей систем предполагает учет ряда важных особенностей: корректность постановки обратной задачи, неполноту и зашумленность измеряемой информации, наличие в спектрах систем кратных частот и др. [9]. Следует отметить, что оценка влияния зашумленности входной информации на устойчивость решения обратных задач требует специальных исследований [10]. Во многих приложениях возникают обратные задачи, которые относятся к классу некорректно поставленных, что предполагает применение специальных методов регуляризации [11]. Критериальные функции об-

ратных задач в общем случае являются многомерными, непрерывными, многоэкстремальными и не всюду дифференцируемыми. При вычислении каждого текущего значения критериальной функции в точках допустимой области могут потребоваться значительные вычислительные ресурсы. Этим обусловлена актуальность создания эффективных алгоритмов коррекции моделей систем по измеряемым модальным данным. Рассматриваемый подход основан на разработке и применении математических моделей исследуемых систем, численных методов определения основных динамических характеристик систем, методов теории обратных задач, методов глобальной не дифференцируемой оптимизации.

Рассматривается обратная задача коррекции конечно-элементной модели ракеты-носителя (РН) пакетной схемы компоновки, основные характеристики которой близки к характеристикам ракеты Ариан-5 [12]. В состав РН входят центральный блок с кислородно-водородным двигателем и двумя одинаковыми твердотопливными ускорителями (первая ступень), а также вторая ступень с двигателем на компонентах топлива длительного хранения. Вторая ступень несет отсек системы управления, переходник и закрытые обтекателем модули полезного груза, установленные на адаптерах. Стартовая масса РН составляет 738000 кг; высота с головным обтекателем – 51.6 м. Длина центрального блока от среза сопла двигателя до плоскости шпангоута, к которому пристыкована вторая ступень, равна 30.5 м. Диаметр блока равен 5.4 м. Сухая масса блока – 12200 кг; масса компонентов топлива – 150617 кг. Каждый ускоритель имеет длину 31.7 м и диаметр 3.05 м. Масса ускорителя равна 277500 кг, в том числе масса компонентов топлива – 237800 кг. На второй ступени ракеты установлены два одинаковых модуля полезного груза; масса каждого модуля равна 6000 кг. Аналитическая модель РН разработана с учетом подвижности жидкости в топливных баках [13].

Анализ результатов численного решения обобщенной задачи на собственные значения (прямой задачи) для конечно-элементной модели РН при различных значениях переменных модели позволяет сделать следующее заключение. Определены собственные пары низших тонов собственных колебаний объекта (соответствует учету собственных частот колебаний до 90 Гц). В полученных спектрах двукратным собственным частотам соответствуют формы, характеризующиеся изгибными колебаниями корпуса центрального блока со второй ступенью и головным обтекателем в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Присутствие кратных частот в исследуемых спектрах частот свободных колебаний РН, выявленное для двух различных случаев

распределения жесткостных и инерционных характеристик, объясняется наличием у ракеты плоскостей симметрии. Кроме того, в сравниваемых спектрах присутствуют частоты, близкие по значениям (почти кратные). Существенно, что значения трехкратных и двукратных собственных частот не зависят от времени. По завершении вычислений решающий алгоритм автоматически упорядочивает собственные значения по возрастанию (имеет также место упорядочение собственных пар). При изменении переменных модели отмечена перенумерация (перестановка) собственных пар. Это указывает на принципиальную возможность, при определенных сочетаниях значений переменных модели, появления в собственных спектрах объекта кратных и почти кратных собственных значений. Последнее обстоятельство является характерным для подобных систем и существенно определяет особенности критериальных функций формулируемых ниже обратных задач.

Возможные подходы к решению обратной задачи коррекции параметров объекта основаны на минимизации квадратичной функции рассогласования или минимизации максимальной из функций рассогласования составляющих сравниваемых собственных спектров – текущего, определяемого переменными модели, и заданного. Необходимо найти такой вектор переменных модели, который приводит к наименьшим отличиям между сравниваемыми спектрами, т.е. следует произвести настройку модели объекта на заданный спектр. Вследствие неполноты входных данных, а также погрешностей при измерениях, формулировка обратной задачи предполагает применение методов регуляризации [11]. Далее в обобщение постановок обратных задач коррекции параметров РН рассматривается задача глобальной не дифференцируемой оптимизации.

Методы решения задач глобальной минимизации многоэкстремальных функций к настоящему времени достаточно хорошо разработаны и находят широкое применение. Следует отметить, что эффективность детерминированных алгоритмов существенно ограничена их зависимостью от размерности задачи. Более мощные стохастические алгоритмы глобальной оптимизации также имеют ряд недостатков. Так, чувствительность к выбору параметров алгоритма этого типа, устанавливаемых пользователем или определяемых содержанием задачи, во многом определяет скорость сходимости итерационного процесса. К числу наиболее мощных современных стохастических алгоритмов глобальной оптимизации относится кратный алгоритм столкновения частиц (с централизованной выборкой) СВМ-РСА [14]. Работа современного алгоритма СВМ-РСА основана на использовании аналогии с физическими процессами абсорбции и рассеяния частиц при

ядерных реакциях. На начальном шаге выбирается пробное решение, которое затем модифицируется посредством стохастического возмущения, что позволяет найти новое решение. С помощью функции `Fitness()` дается сравнительная оценка нового и предыдущего решений, на основании которой новое решение может быть принято или отвергнуто. Если новое решение отвергнуто, то происходит переход к функции `Scattering()`, реализующей схему Метрополиса. Новое решение принимается, если оно лучше предыдущего (абсорбция); если найденное решение хуже предыдущего, то происходит переход в отдаленную область пространства поиска (рассеяние), что позволяет преодолевать локальные минимумы. Одним из путей повышения эффективности алгоритмов глобальной оптимизации является совершенствование процедуры локального поиска. Гибридный алгоритм объединяет эффективный стохастический алгоритм, сканирующий пространство переменных, и детерминированный алгоритм локального поиска. В состав результирующего гибридного алгоритма CBM-PCANH дополнительно входят стандартные процедуры `Perturbation` и `Small_Perturbation` [14], а также процедуры локального поиска методом Хука–Дживса. Второй гибридный алгоритм CBM-PCALMSI интегрирует стохастический алгоритм CBM-PCA и детерминированный метод линеаризации для сглаживающих аппроксимаций критериальных функций LMSI [15]. Разработано программное обеспечение, реализующее гибридные алгоритмы CBM-PCANH и CBM-PCALMSI.

Приведен численный пример коррекции параметров аналитической модели РН по измеряемым модальным данным. Предполагается, что экспериментальное определение собственных форм не обеспечивает требуемой точности, поэтому регистрируемые модальные данные представлены только ограниченным собственным спектром, соответствующим низшим собственным частотам объекта. Входная информация моделируется решением прямой задачи для объекта при некоторых фиксированных значениях коэффициентов жесткости узлов межблочных связей. Предполагается также, что относительная погрешность входных данных не превышает 0,01 %, шумы отсутствуют. Реализован подход, основанный на методе регуляризации Тихонова [11]. Решение модельной задачи коррекции жесткостных характеристик узлов межблочных связей по модальным данным получено с использованием гибридного алгоритма CBM-PCANH. В результате проведено уточнение значений жесткостных характеристик верхнего и нижнего поясов межблочных связей РН. Точность полученного приближенного решения согласована с точностью задания входной информации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pulecchi T., Casella F., Lovera M. Object-oriented modelling for spacecraft dynamics: Tools and applications // *Simulation Modelling and Theory*. 2010. V. 18, № 1. P. 63-86.
- [2] Zhang X., Ma W., Jiao X. Secondary development and application of satellite dynamic simulation platform based on ABAQUS // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 436. 012012 (6 pp.).
- [3] García-Pérez A., Sanz-Andrés Á., Alonso G., Manguán M.C. Dynamic coupling on the design of space structures // *Aerospace Science and Technology*. 2019. V. 84. P. 1035-1048.
- [4] Arora V. Comparative study of finite element method model updating methods // *Journal of Vibration and Control*. 2011. V. 17, № 13. P. 2023-2039.
- [5] Mercer J.F., Aglietti G.S., Kiley A.M. Model reduction and sensor placement methods for finite element model correlation // *AIAA Journal*. 2016. V. 54, № 12. P. 3941-3955.
- [6] Lee E.-T., Eun H.-C. Update of corrected stiffness and mass matrices based on measured dynamic modal data // *Applied Mathematical Modelling*. 2009. V. 33, № 5. P. 2274-2281.
- [7] Разработка расчетно-экспериментального метода модального анализа крупногабаритных трансформируемых космических конструкций / В.А. Бернс, В.Е. Левин, Д.А. Красноручский, Д.А. Маринин, Е.П. Жуков, В.В. Маленкова В.В., П.А. Лакиза // *Космические аппараты и технологии*. 2018. Т. 2, № 3. С. 125-133.
- [8] Liu X., Li J., Hu X.-Y. Generalized inverse problems for part symmetric matrices on a subspace in structural dynamic model updating // *Mathematical and Computer Modelling*. 2011. V. 53, № 1-2. P. 110-121.
- [9] Bartilson D.T., Jang J., Smyth A.W. Finite element model updating using objective-consistent sensitivity-based parameter clustering and Bayesian regularization // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. V. 114. P. 328-345.
- [10] Bleyer I.R., Ramlau R. A double regularization approach for inverse problems with noisy data and inexact operator // *Inverse Problems*. 2013. V. 29. 025004 (16 pp.).
- [11] Benning M., Burger M. Modern regularization methods for inverse problems // *Acta Numerica*. 2018. V. 27. P. 1-111.
- [12] http://www.arianespace.com/site/launcher/launcher_index.html
- [13] Колесников К.С. Динамика ракет: Учебник для вузов. 2-е изд., исправл. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 520 с.
- [14] Torres R.H., da Luz E.F.P., de Campos Velho H.F. Multi-particle collision algorithm with reflected points // *Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics*. 2015. V. 3, № 1. 010433 (6 pp.).
- [15] Sulimov V.D., Shkapov P.M., Sulimov A.V. Jacobi stability and updating parameters of dynamical systems using hybrid algorithms // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 468. 012040 (11 pp.).

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ *

М.М. Алексеева, Н.А. Брыков, И.А. Вихрова

«Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Санкт-Петербург, Россия

Features of numerical simulation of high-speed aircraft.

M.M. Alekseeva, N.A. Brykov, I.A. Vikhrova

Baltic State Technical University

"VOENMEH" them. D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

Проведение реальных физических экспериментов в области гиперзвуковых скоростей связано с рядом трудностей. Возможность численного моделирования реальных гиперзвуковых течений позволяет существенно упростить создание новых гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА). Характеристики движения тел с гиперзвуковыми скоростями значительно осложнены тем, что при разработке ГЛА уже на ранних стадиях проектирования необходимо учитывать специфические аэродинамические и теплофизические особенности [1].

Высокие температуры поверхности ГЛА связаны с тем, что в сжатом и пограничном слоях при обтекании тела гиперзвуковым потоком газ становится химически активным, происходят реакции диссоциации и рекомбинации. Получается, что тепло- массообмен интенсифицируется между потоком и поверхностью тела (сопряжённая задача) [2]. Большой градиент температур указывает на необходимость использования подходящего метода тепловой защиты.

Летательные аппараты, развивающие гиперзвуковую скорость, могут иметь маршевый участок траектории в условиях разреженной атмосфере (на больших высотах), таким образом, необходимо оценить возможность применения модели сплошной среды и системы уравнений Навье-Стокса.

Важной задачей при конструировании ГЛА является также организация сгорания топлива при сверхзвуковых скоростях потока: время пребывания горючего в камере сгорания резко сокращается, что делает проблематичным эффективное смешение горючего с окислите-

* По материалам доклада опубликована статья: Алексеева М.М., Брыков Н.А., Вихрова И.А. Особенности численного моделирования высокоскоростных летательных аппаратов. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 1, с. 1-14 <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-1-1946>

лем. Иногда для того, чтобы топливо успело среагировать, требуется значительное увеличение длины камеры сгорания двигателя, что, соответственно, ведет к увеличению габаритов. Для того чтобы химическая реакция прошла в полном объеме и горючее успело полностью сгореть за такой малый промежуток времени, необходимо подготовить топливную смесь перед воспламенением.

В работе исследуются особенности численного моделирования процессов, характерных для задач гиперзвуковой аэродинамики летательных аппаратов и процессов внутренней газодинамики двигательных установок. Атмосферный воздух представляется пятикомпонентной смесью (O_2 , N_2 , NO , O , N), учитывающей реакцию диссоциации кислорода и азота и реакцию образования окиси азота. Процессы смешения и горения топливной смеси в камере сгорания двигательной установки исследуются на примере пары керосин – воздух.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волков К.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г. Численное моделирование газодинамических и физико-химических процессов при обтекании тел гиперзвуковым потоком. // Вычислительные методы и программирование, 18:4 (2017). С. 387–405.
- [2] Ковалев В.Л. Гетерогенные каталитические процессы в неравновесной аэротермодинамике. М.: Физматлит, 2002.



М.М. Алексеева



НЕЛИНЕЙНАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Л.И. Маневич, М.А. Ковалева

ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия

makovaleva@chph.ras.ru

Nonlinear oscillatory dynamics of a parametric pendulum. L.I.

Manevich, M.A. Kovaleva

Semenov Institute of Chemical Physics, Moscow, Russia

Рассмотрена нелинейная динамика параметрически возбуждаемого маятника. Предлагаемый аналитический подход направлен на описание динамики маятника за пределами упрощенных режимов, обычно рассматриваемых в литературе, где предполагаются стационарность и колебания с малой амплитудой. Таким образом, с помощью подходов усреднения и предельной фазовой траектории (LPT), рассматриваются как стационарные, так и нестационарные динамические режимы в окрестности основного параметрического резонанса без каких-либо ограничений на амплитуды колебаний маятника. Преимущество предлагаемого подхода заключается в возможности идентификации сильно модулированных режимов для произвольных начальных условий и высокоамплитудного возбуждения в случаях, когда традиционно используемое квазилинейное приближение недопустимо. Также обеспечивается идентификация бифуркаций стационарных состояний, а также поправок на большие амплитуды порогов устойчивости, исходящих из основного параметрического резонанса.

Работа выполнена при поддержке ФАНО Российской Федерации.



М.А. Ковалева



ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЖЕКЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТРУИ, ИСТЕКАЮЩЕЙ В ЗАТОПЛЕННОЕ ПРОСТРАНСТВО *

А.Ю. Луценко, В.А. Криушин
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
aulutsenko@mail.ru

*Numerical study of the ejection properties of a jet flowing into
flooded space. A.Yu. Lutsenko, V.A. Kriushin*
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В настоящее время большой интерес представляет изучение взаимодействия сверхзвуковой струи газа, истекающей в затопленное пространство с плоской преградой. Этот интерес обусловлен возможностью применения полученных знаний для решения различных практических задач: проектирования газоотражателей на авианосцах, создания тормозных двигательных установок (ТДУ) на посадочных модулях, резки металлов кислородной струей и т.д. В частности, одной из наиболее актуальных задач в настоящее время является задача разработки ТДУ для пилотируемых транспортных кораблей нового поколения (ППТК НП). Она не может быть решена без изучения обратного влияния преграды на возвращаемый аппарат.

В данной работе проводился расчет истечения сверхзвуковой недорасширенной струи, ось которой расположена параллельно и нормально преграде при различных значениях нерасчетности, числах Маха на срезе сопла и расстояниях от преграды. Расчет проводился в пакете ANSYS с моделью турбулентности $k-\omega$ SST.

После проведения расчетов была проведена их верификация. Общая картина течения соответствует реальной – диссипация энергии в результате смещения и прохождения скачков уплотнения по мере удаления от среза сопла. Полученные форма струи и распределение давления на преграде согласуются с экспериментальными данными [1], [2] и [3]. Так, расположение характерных точек струйного течения (диска Маха, наибольшего диаметра струи, границы первой бочки) соответствуют выведенным на основе экспериментов эмпирическим

* По материалам доклада опубликована статья: Луценко А.Ю., Криушин В.А. Численное исследование эжекционных свойств струи, истекающей в затопленное пространство. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 2, с. 1-11 <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-2-1955>

зависимостям. Характер течения струи у стенки (ее растекание в радиальном направлении с образованием «бочек», уменьшающихся по размеру) также находит экспериментальное подтверждение.

Было получено, что при расположении преграды параллельно оси струи интегральная сила существенно зависит от расстояния до оси струи $\bar{h} = h/r_a$, нерасчетности струи n и числа Маха на срезе сопла M_a . Причем при $\bar{h} \sim 1$ эта сила направлена по внешней нормали к стенке (т.е. у стенки происходит понижение давления относительно давления в окружающем пространстве), при $\bar{h} > 2$ – по внутренней нормали к стенке (у стенки повышение давления).

При расположении преграды нормально к оси струи распределение давления вдоль стенки (в радиальном направлении) в исследуемом диапазоне определяющих параметров имеет следующий характер: $p \approx \text{const}$ при $r \leq r_a$ и $p \sim \exp(-r/r_a)$ при $r > r_a$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Калугин В.Т. Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 688 с
- [2] Мельникова М.Ф., Нестеров Ю.Н. Воздействие сверхзвуковой нерасчетной струи на плоскую преграду, перпендикулярную оси струи // Ученые записки ЦАГИ, Т. II, № 5, 1971. С. 105-108.
- [3] Шелухин Н.Н. Исследование характеристик сверхзвуковой недорасширенной струи // Ученые записки цаги, Т. XXVI, № 1 - 2, 1995. С. 78-87.



В.А. Криушин



ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ СВЕРХЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ МЕТОДОМ НЬЮТОНА

А.Ю. Луценко, Н.А. Скворцова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
aulutsenko@mail.ru

*Determination of the aerodynamic characteristics of thin-walled
shells at supersonic speeds using the Newton method. A.Yu.
Lutsenko, N.A. Skvortsova
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

Пуски всех современных ракет-носителей сопровождаются сбросом отработавших элементов конструкции, которые представляют собой тонкостенные оболочки. После отделения отработавшие элементы конструкции движутся в широком диапазоне скоростей и углов атаки. Поэтому исследование аэродинамических характеристик (АДХ) тонких оболочек представляет практический интерес, так как оно является отправной точкой для решения задач статической и динамической устойчивости РН, определения и сокращения районов их падения.

В работе рассмотрено применение приближённого метода, основанного на теории Ньютонова торможения [1]. Этот метод известен давно и позволяет оперативно находить значения АДХ тела, минуя предварительный расчёт полей газодинамических параметров в потоке. Особый подход, используемый в разработанной программе, написанной в среде Delphi, заключается в применении файлов STL-геометрии тел для нахождения области аэродинамической тени и местных углов между внутренней нормалью к поверхности тела и вектором скорости набегающего потока.

С помощью разработанной программы были проведены тестовые расчёты АДХ простых тел вращения. Данные характеристики сравнивались с экспериментальными данными, результатами других расчётов, основанных на методе Ньютона [2], а также с расчётами в программном пакете SolidWorks. Расхождение с экспериментом в среднем составляет 5%. Данные отклонения объясняются не учётом влияния трения и донного сопротивления на АДХ тел в методе Ньютона.

Для тонкостенных тел возникает сложность в определении области аэродинамической тени во внутренней полости. В этом случае

для расчёта был применён особый геометрический подход, заключающийся в построении секущей плоскости по направлению вектора скорости набегающего потока и анализе положения узлов сетки разбиения относительно линии пересечения этой плоскости с поверхностью тела. Визуализация распределения коэффициента давления по поверхности тела была реализована с помощи программного пакета ParaView.

Исходя из полученного положения области аэродинамической тени, были получены величины АДХ, которые сравнивались с расчётом аналогичной задачи в открытом программном пакете Orean FOAM. Расхождение полученных величин нормальной силы и момента тангажа составляют около 5%; для продольной силы при углах атаки в диапазоне $\alpha \in [160^\circ; 200^\circ]$ метод Ньютона не учитывает влияние отошедшего скачка уплотнения на течение во внутренней полости, что необходимо учитывать при анализе величины аэродинамического коэффициента.

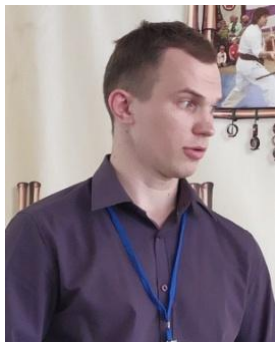
По результатам расчётов можно сделать вывод о работоспособности представленного алгоритма и возможности применения его для оперативной оценки АДХ тел сложной формы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аэродинамика. Учебник для вузов. Под ред. Калугина В.Т. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 608 с.
- [2] Артонкин В.Г. и др.. Аэродинамические характеристики острых и притупленных конусов при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях//Труды ЦАГИ. Вып. 1413. 1972. С. 25- 30.



ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ СЛИВА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ДРОССЕЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ СВЕРХЗВУКОВОГО ВОЗДУХОЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА



И.А. Сидоров

А.Ю. Луценко, И.А. Сидоров
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
aulutsenko@mail.ru

*The influence of the drainage system of the
boundary layer of a supersonic air intake de-
vice on its throttle characteristic. A.Yu.
Lutsenko, I.A. Sidorov*
Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia

Основной характеристикой воздухозаборного устройства (ВЗУ) является зависимость коэффициента восстановления полного давления за системой скачков уплотнения σ от коэффициента относительного массового расхода воздуха через канал ВЗУ $\bar{f}$.

Проведено численное моделирование течения в канале бокового ВЗУ сверхзвукового летательного аппарата (ЛА). Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными ЦАГИ показало, что для большей эффективности работы ВЗУ необходимо разместить на клине торможения систему слива пограничного слоя (ПС). Работа посвящена анализу влияния соответствующей системы слива, представляющей собой 5 рядов отверстий перфорации на работу ВЗУ. Численное моделирование проведено в CAE – пакете StarCCM+, использовалась « $k-\varepsilon$ » модель турбулентности. На геометрическую твердотельную модель, построенную в CAD–пакете NXUnigraphics, была наложена неструктурированная сетка общим объемом 6 млн. ячеек, которая имела сгущение по поверхности ЛА, каналу ВЗУ и вдоль отверстий перфорации. Моделировалось движение на высоте 11 км при крейсерском режиме полета данного ЛА (числе $M_\infty = 2.35$) и нулевых углах атаки и скольжения. Дроссельная характеристика $\sigma(\bar{f})$ получалась путем варьирования давления перед камерой сгорания в диапазоне от $5.5 p_\infty$ до $9.5 p_\infty$, где p_∞ – статическое давление набегающего потока. Получены следующие результаты:

1. Распределение давления на внутренней поверхности ВЗУ соответствует геометрии поверхности, при обтекании которой образу-

ются скачки уплотнения (СУ) и волны разряжения. При наличии системы слива ПС абсолютная величина давления в окрестности отверстий незначительно уменьшается за счет перепуска газового потока.

2. Суммарная площадь отверстий перфорации невелика, поэтому изменением массового расхода через ВЗУ можно пренебречь.

3. Наибольшее влияние система слива оказывает на коэффициент σ . На сверхкритическом режиме работы ВЗУ дроссельные характеристики с системой слива ПС и без нее практически идентичны. На согласованном режиме работы коэффициент σ возрастает, то есть увеличивается тяга всей силовой установки. Это увеличение обусловлено тем, что система слива ПС способствует предотвращению возникновения отрыва потока при взаимодействии косых СУ и ПС. Кроме того, система слива ПС ВЗУ позволяет удерживать замыкающий СУ на кромке обечайки при дальнейшем варьировании противодействия, тем самым оттягивая наступление помпажа.

Таким образом, разработка системы слива ПС является необходимой мерой повышения эффективности работы ВЗУ и увеличения тяги двигательной установки без дополнительных затрат топлива.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СИЛЫ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

В.В. Варенцов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Methods for determining the minimum holding force in the presence of sliding friction. V.V. Varentsov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В инженерных расчетах часто встречаются задачи, в которых необходимо учитывать силу трения, приложенную к телу, находящемуся на наклонной шероховатой поверхности. Минимальная удерживающая тело в равновесии сила зависит от положения наклонной плоскости и направления линии действия этой силы. Рассмотрены три метода решения подобной задачи включающие исследование геометрического и аналитического условия равновесия тела. Дана сравнительная характеристика рассмотренных методов. Результаты представлены графическими зависимостями.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВЫХ КООРДИНАТ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЁТА ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА

П.А. Филонова, В.И. Заварзин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Polly.Filonova@yandex.ru

*The methodology for determining the source data for constructing
a stochastic mathematical model for changing the phase coordi-
nates of the flight path of an air object. P.A. Filonova, V.I.*

Zavarzin

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Оценка параметров траекторий воздушных объектов базируется на теории оптимальной фильтрации, которая предполагает наличие априорных сведений о динамике их полета в виде соответствующей структуры стохастических математических моделей радиальных составляющих скорости и ускорения и численных значений ее параметров.

В настоящее время построение стохастической математической модели радиальных скорости и ускорения полёта воздушного объекта базируется на основе корреляционного анализа траекторного доплеровского портрета, который формируется в процессе узкополосного спектрального анализа радиолокационных сигналов, отраженных от реального воздушного объекта.

Анализ известных методик построения стохастических математических моделей позволяет сделать вывод, что основными факторами, оказывающими влияние на их адекватность, являются вид автокорреляционной функции (АКФ) и численные значения траекторных статистических характеристик.

Исходя из этого, возникла необходимость разработки методики получения достоверных исходных данных для построения стохастической математической модели изменения фазовых координат траектории полёта воздушного объекта цели на основе её траекторного доплеровского портрета.

Методика состоит в последовательном выполнении следующих операций:

1. Корреляционный анализ реальных траекторий доплеровских частот на основе построения оценки АКФ в дискретном времени, особенностью которого является взвешивание весовым окном Хемминга.

2. Получение оценок траекторных статистических характеристик – параметров оценки АКФ:

- дисперсия скоростных флуктуаций;
- частота собственных колебаний АКФ – по максимуму её спектральной плотности, определяемой в соответствии с теоремой Хинчина;
- время корреляции – как величина, обратная ширине основной моды спектральной плотности АКФ.

3. Аппроксимация полученной оценки АКФ одним из известных выражений.

Выбор выражения, аппроксимирующего оценку автокорреляционной функции, осуществляется по критерию минимума суммы квадратов разностей.

Применение разработанной методики обеспечивает получение исходных данных в виде оценок траекторных статистических характеристик. А также в виде известного выражения, аппроксимирующего оценку автокорреляционной функции, адекватных по критерию минимума суммы квадратов разностей реально наблюдаемым процессам – реальным траекториям доплеровских частот (радиальных скоростей сближения).

Использование адекватных исходных данных позволит построить адекватную стохастическую математическую модель изменения фазовых координат траектории полёта.



П.А. Филонова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АПЕРТУРЫ В ФОРМЕ СНЕЖИНКИ КОХА НА ДИФРАКЦИЮ ФРАУНГОФЕРА В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В.И. Заварзин, С.Б. Каледин, С.В. Якубовский
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
yakubovskiyastas@mail.ru

*Study of the effect of an aperture in the form of a Koch snowflake
on the diffraction of fraunhofer in optical systems. V.I. Zavarzin,
S.B. Kaledin, S.V. Yakubovsky*
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Для оценки влияния на дифракцию и на качество изображения в данной работе была использована апертура определённой формы, которая за счёт своей структуры смогла бы позволить уменьшить пятно рассеяния и тем самым повысить качество изображения. Для применения подобного метода были получены аналитические зависимости для распределения света при прохождении его через такую апертуру, с помощью которой можно регулировать процесс формирования изображения, включая цифровую программную коррекцию. Сначала была рассмотрена как базисная форма апертуры, имеющая вид равносостороннего треугольника, а затем в виде снежинки Коха.

При расчётах были приняты следующие допущения: размеры отверстия на экране и размеры области наблюдения много меньше расстояния от экрана до плоскости наблюдения; размеры отверстия на экране велики по сравнению с длиной волны падающего света; источник света является монохроматическим и находится на таком расстоянии от экрана, что свет, падающий на экран, имеет практически плоский волновой фронт и постоянную амплитуду.

Распределение спектральной плотности комплексной амплитуды от отверстия (апертуры) на непрозрачном экране при дифракции Фраунгофера и освещении плоской монохроматической волной рассчитывалось при помощи интеграла Фраунгофера, и через связь с комплексной амплитудой находилось искомое распределение интенсивности в плоскости дифракционной картины.

С учётом допущений метод решения интеграла Фраунгофера заключался в задании его пределов интегрирования, исходя из профиля апертуры и выбранной для него системой координат отсчёта.

В процессе исследования были представлены результаты аналитического моделирования дифракции Фраунгофера. Вместе с этим были получены следующие результаты:

- 1) построены дифракционные картины распределения света в таких оптических системах;
- 2) проанализированы зависимости профилей излучения и амплитудных профилей от пространственных частот спектра;
- 3) рассмотрено явление возникновения дополнительных максимумов интенсивности при осевом распределении поля;
- 4) продемонстрированы возможности применения фрактальных структур при проектировании оптических систем.

Выводы. Изучен аналитический процесс формирования изображения дифракционно-ограниченными оптическими системами. Получен графический вид характеристик этого процесса в зависимости от двух форм, ограничивающих апертуру: равностороннего треугольника и снежинки Коха. Показано, что задание формы апертуры особым способом эффективно и может быть использовано для уменьшения дифракционных влияний.



С.В. Якубовский



ВЛИЯНИЕ УШИРЕНИЯ ГАЗОВОГО РЕСИВЕРА НА БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ УСТАНОВОК НА СЖАТОМ ГАЗЕ

Н.В. Быков, И.Е. Шестаков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

The effect of the width of the gas receiver on the ballistic characteristics of single-stage compressed gas plants. N.V. Bykov, I.E. Shestakov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Одной из основных стадий лабораторного моделирования взаимодействие частиц космического мусора с элементами космических аппаратов является получение скоростей частиц в заданном диапазоне. Для этих целей используются баллистические установки различной конструкции [1, 2], наиболее желательным свойством экспериментальной установки является возможность обеспечения предсказуемого изменения скоростей метания в некотором диапазоне. Для одноступенчатых баллистических установок на сжатом газе известны как классические приближенные решения, так и численные решения одномерных и двумерных задач с некоторыми допущениями [3]. В то же время большинство этих решений не учитывают некоторые конструктивные особенности установок, например, влияние ширины газового ресивера на динамику разгона метаемого тела, который для упрощения считается одного диаметра с разгонным стволом. Работа посвящена исследованию влияния этого параметра на баллистические характеристики.

Для математического моделирования процесса разгона поршня в баллистической установке использовалась модель совершенного газа, в рамках которой решалась двумерная осесимметричная задача явным методом в пакете ANSYS Fluent. Для расчета потоков использовалась схема AUSM. Поскольку в процессе выстрела снаряд движется, была использована подвижная сетка. Модель замыкалась уравнением движения поршня, реализованным с помощью пользовательской функции (userdefinedfunction, UDF).

За основу была взята геометрия баллистической установки, на которой проводились экспериментальные исследования в работе [4]. При этом максимальная погрешность расчета относительно экспериментальных данных составила 4.3%. Для оценки влияния уширения камеры на выходную скорость снаряда были рассмотрены три вариан-

та диаметра ресивера при сохранении его объема, остальная геометрия баллистической установки соответствует рассмотренной выше. Для каждого из этих случаев были рассмотрены три различных массы метаемого тела, отвечающие значениям μ (отношение массы метаемого тела к массе газа), равным 10, 1.0 и 0.1.

Полученные распределения показывают, что для одинаковых условий заряжания наибольшая выходная скорость снаряда соответствует наибольшему уширению камеры, при этом скорость падает с уменьшением уширения камеры. Результаты демонстрируют существенное влияние уширения камеры на дульную скорость снаряда, что связано с тем, что на разгон снаряда на начальном этапе в значительной мере оказывают влияние волновые эффекты, с увеличением же уширения камеры уменьшается её длина, что сокращает путь отраженной от дна снаряда волны и позволяет ей догнать снаряд до его вылета из ствола.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Seiler F., Igra O., ed. *HypervelocityLaunchers*. Springer, 2016, 300 p.
- [2] Златин Н.А., Красильщиков А.П., Мишин Г.И., Попов Н.Н. *Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях*. Москва, Наука, 1974, 344 с.
- [3] Moradi A., Ahmadikia H. One-Dimensional and Axisymmetric Numerical Simulation of a Single-Stage Gas Gun. *Adv. Theor. Appl. Mech.*, 2011, vol. 4(3), pp. 101-111.
- [4] Johnston A., Krishnamoorthy L. V. A Numerical Simulation of Gas Gun Performance. *Defense Science and Technology Organization*, 2008, DSTO-TN-080.



И.Е. Шестаков

* * *

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Секция №5 ММНТК-2019

Аэрокосмические технологии

Руководители секции:



Скоробатюк Виктор Васильевич –
– зам. руководителя ЦКБМ
АО «ВПК «НПО машиностроения»
по информационным технологиям



Щеглов Георгий Александрович –
– зам. зав. кафедрой СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана,
доктор технических наук, профессор



Ничушкина Татьяна Николаевна –
– доцент кафедры ИУ-6 «Компьютерные системы и сети» МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кандидат технических наук

ГРАФООРИЕНТИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА МАСШТАБИРУЕМЫХ И СОПРОВОЖДАЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ БИБЛИОТЕК ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ



А.П. Соколов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
alsokolo@bmstu.ru

Graph-oriented development of scalable and maintainable computing libraries for computer-aided design of complex technical objects.

A.P. Sokolov

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia*

В процессе проектирования сложных технических объектов часто возникает потребность применения методов математического моделирования и численных методов решения задач математической физики. Программное обеспечение, объединяющее в своём составе комплекс программных модулей, реализующих вычислительные методы, обеспечивающие автоматизацию проектных расчетов, требуемых для создания новых технических объектов, формирует системы инженерного анализа и автоматизированного проектирования. Зачастую создание таких систем представляет сложность, так как предполагает применение систематизированных подходов при их разработке.

В докладе представлен специализированный способ графоориентированной разработки программных реализаций сложных вычислительных методов, на основе которого были созданы специализированные технологии разработки вычислительных библиотек, обладающих свойствами расширяемости, кроссплатформенности, масштабируемости и сопровождаемости.

С помощью разработанного математического и алгоритмического обеспечения стало возможным:

- создать распределенную систему автоматизированного проектирования новых композиционных материалов;
- проводить расчет физико-механических характеристик композиционных материалов при недостатке исходных данных;
- разрабатывать масштабируемые вычислительные библиотеки для решения различных прикладных задач.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТОГО ПАКЕТА CODE ASTER ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВИБРОАКУСТИКИ И ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

П.С. Лукашин, Г.А. Щеглов, А.В. Березовский
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Using the open Code Aster package to solve vibroacoustics problems and choosing rational experiment parameters. P.S. Lukashin, G.A. Scheglov, A.V. Berezovsky
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Акустические нагрузки высокого уровня, возникающие при старте ракеты-носителя, могут быть критическими для целостности элементов стартового комплекса и различных систем носителя, а также выводимого КА. Уровни звукового давления могут достигать значений 160...200 Дб в некоторых точках ракеты. В настоящее время устойчивость элементов КА к акустическим нагрузкам оценивается по большей части экспериментальным путем, и необходима методика математического моделирования.

В настоящее время основным численным методом решения подобных задач является метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод применительно к задачам виброакустики реализован как в коммерческом ПО (например, Ansys, Actran), так и в открытом (Code Aster). Основной трудностью при решении данных задач является создание корректной расчетной схемы, при этом отсутствие в общедоступных источниках полноценных экспериментальных данных не позволяет отработать методику проведения виброакустического расчета.

В докладе рассматривается ряд задач акустики и виброакустики таких как колебание цилиндра и сферы при кинематическом возбуждении, а также колебание пластины при силовом возбуждении. Приводятся результаты их решения, полученные с использованием КЭ пакета Code Aster и с аналитическими решениями. Показана возможность применения открытого пакета Code Aster.

Предложена схема проведения эксперимента по генерации акустического поля внутри тонкостенной коробчатой конструкции при действии точечной силы на одной из ее граней. По результатам численного моделирования в пакете Code Aster предложены рациональные геометрические параметры конструкции для проведения эксперимента.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОБТЕКАНИЯ ЗАТУПЛЕННОГО КОНУСА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧИСЕЛ МАХА И УГЛОВ ПОЛУРАСТВОРА КОНУСА

В.П. Котенев^{1,2}, А.С. Пучков², Д.А. Сапожников¹, Е.Г. Тонких²

¹АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Genya1796@outlook.com



Modeling of supersonic spatial flow around a blunt cone in a wide range of Mach numbers and cone angle. V.P. Kotenev^{1,2}, A.S. Puchkov², D.A. Sapozhnikov¹, E.G. Tonkikh²

¹JSC “MIC” Mashinostroyeniya”, Reutov, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В работе определяется аналитическая зависимость для давления на затупленном конусе обтекаемом под нулевым углом атаки, также зависимость применяется на случай пространственного обтекания. Определение проводилось посредством оптимизации функционала метода наименьших квадратов с использованием алгоритмов каскадной минимизации и генетического алгоритма [1] на различных этапах работы. Функционал составлялся из табличных значений [2] коэффициента давления и коэффициента давления, рассчитанного по выведенной ранее формуле.

Для обобщения зависимости на случай пространственного обтекания использовался метод локальных поверхностей [3]. Коэффициент давления на поверхности сферического затупления рассчитывался отдельно от конической части [4]. Результаты сравнивались с теоретическими данными [2, 5] и результатами расчетов, проведенных с помо-

щью численных методов, была определена область применимости метода. Из сравнения следует, что использование аналитической формулы для распределения давления по поверхности затупленного конуса при пространственных течениях в прикладных задачах аэродинамики позволяет упростить вычисления при сохранении точности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пантелеев А.А. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума – М.: Изд-во МАИ – ПРИНТ, 2009.
- [2] Любимов А.Н., Русанов В.В. Течения газа около тупых тел.-М.: Наука, 1970. – 379 с.
- [3] Вотяков В.Д., Кибардин Ю.А., Кузнецов С.И., Шумяцкий Б.Я. Основы аэродинамики гиперзвуковых скоростей и разреженных газов, М: ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 1959
- [4] Котенев В.П. Точная зависимость для определения давления на сфере при произвольном числе Маха сверхзвукового набегающего потока // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. №9. С. 141-148.
- [5] Лунев В.В., Магомедов К.М., Павлов В.Г. Гиперзвуковое обтекание при-тупленных конусов с учетом равновесных физико-химических превращений. – М.: ВЦ АН СССР, 1968

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ВОЗМУЩЕННОЙ ОБЛАСТИ ОКОЛО ЗАТУПЛЕННОГО КОНУСА

В.П. Котенев^{1,2}, Е.Г. Тонких², Д.А. Сапожников¹, А.С. Пучков²

¹АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

andrej.puchkov.95@mail.ru

Pressure recovery in a disturbed region near a blunted cone. V.P. Kotenev^{1,2}, A.S. Puchkov², D.A. Sapozhnikov¹, E.G. Tonkikh²

¹JSC “MIC” Mashinostroyeniya”, Reutov, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Целью данной работы является получение зависимости, описывающей распределение давления в возмущенной области около затупленного по сфере конуса. Предложен модифицированный метод обратного средневзвешенного расстояния, который рассматривался

для сферической и конической частей тела отдельно ввиду различия характера течения газа на них [1 – 3]. Полученная модель достаточно точно описывает распределение давления в ударном слое около затупленного конуса и согласуется с данными численных экспериментов, которые не были использованы при ее построении. Результаты сравнивались с теоретическими данными и данными точных расчетов. В отличие от других методов, предложенный метод не нуждается в длительных расчетах и существенных затратах машинного времени. Зависимость может быть использована как самостоятельно [4], для целевого определения аэродинамических параметров на составных телах, так и в качестве первого приближения для пакетов программ расчета параметров обтекания в рамках строгой постановки системы уравнений газовой динамики [5 – 6].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шапиро Е.Г. Исследование сверхзвукового обтекания сферы потоком воздуха при высокой статической температуре // Научные труды №19. Аэродинамика больших скоростей, 1972.
- [2] Котенев В.П. Точная зависимость для определения давления на сфере при произвольном числе Маха сверхзвукового набегающего потока // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. №9. С. 141-148.
- [3] Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит, 1991. – 600 с.
- [4] Котенев В. П., Рацлав Р.А., Сапожников Д.А., Чернышев И.В. Метод классификации элементов поверхности летательного аппарата для численно-аналитического решения задач аэродинамики// Математическое моделирование и численные методы, 2017, №3 (15).
- [5] Дмитриенко Ю.И., Коряков М. Н., Захаров А.А. Применение метода RKDG для численного решения трехмерных уравнений газовой динамики на неструктурированных сетках// Математическое моделирование и численные методы. № 4. 2015 г. с.75-91.
- [6] Дмитриенко Ю.И., Коряков М.Н., Захаров А.А., Строганов А.С. Численное моделирование сопряженных аэрогазодинамических и термодинамических процессов в композитных конструкциях высокоскоростных летательных аппаратов // Математическое моделирование и численные методы, 2014, №3 (3), с.3 – 24.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБТЕКАНИЯ В УДАРНОМ СЛОЕ ОКОЛО ПАРАБОЛОИДА СРЕДСТВАМИ АНАЛИЗА ДАННЫХ

В.П. Котенев¹, Д.А. Сапожников¹, Н.М. Козырев²

¹АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов,

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

kozyrevnm@gmail.com

Recovery of flow parameters in the shock layer near a paraboloid by means of data analysis. V.P. Kotenev¹, D.A. Sapozhnikov¹, N.M. Kozyrev²

¹JSC "MIC" Mashinostroyeniya", Reutov, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В работе рассматривается задача определения параметров обтекания в возмущенной области около параболоида в сверхзвуковом потоке. Показано, что давление в области не зависит от фокального параметра параболоида, значимым параметром в рассматриваемом случае является угол наклона касательной к поверхности параболоида. Получена зависимость для определения давления в ударном слое. Верификация соотношений показывает, что рассогласование с известными данными не превышает 5%.

Целью работы является восстановление распределения параметров обтекания в возмущенной области около параболоида на примере давления. Для определения коэффициентов зависимости использовалась информация о распределении давления на поверхности тела, за ударной волной и мгновенные тенденции к их изменению. Верификация проводилась по табличным данным, предварительно изъятых из обучающей выборки. Рассматривается сверхзвуковое невязкое обтекание параболоида в диапазоне чисел Маха от 2 до 20. В качестве исходных данных используются начально-аналитические приближения для определения давления на теле [1] и соотношения Ренкина-Гюгонно на скачке уплотнения [2].

Давление на поверхности тела не зависит от фокального параметра параболоида, что позволяет рассматривать задачу в общем случае, выделяя в качестве главных параметров нормальную координату, угол наклона касательной и число Маха. Рассмотрены два подхода к получению искомой зависимости. Первый из них – многопараметрической нелинейной регрессии с предположением о некоррелированности объясняющих переменных. На каждом шаге определялись зависимости целевых переменных от выделенного признака, чье поведение

описывалось меньшим набором табличных данных [3]. Полученная зависимость достаточно точно (с точки зрения коэффициента детерминации) описывает рассматриваемое физическое явление, негативной стороной данного подхода является излишняя громоздкость решающего соотношения. Другой предлагаемый подход – применение метода обратного средневзвешенного расстояния (метод Шепарда) [4 - 6] – позволяет получить более простую в записи зависимость с несущественными потерями точности.

Важным отличием этой работы от предыдущих является предлагаемый метод построения геометрии ударной волны из распределения давления на поверхности тела. Он позволяет свести рассматриваемую задачу восстановления поля течения в области к задаче определения давления на теле и волне из точных аналитических соотношений и снизить возможную погрешность итоговых соотношений, обусловленную экспериментальной природой данных. Универсальность метода построения ударной волны и начально-аналитического приближения на теле позволяет обобщить предлагаемую методику на любые затупленные тела.

Полученные результаты имеют практическую ценность и могут быть использованы как самостоятельно при определении аэродинамических нагрузок на головные и оживальные части летательных аппаратов, так и в составе комплексов программ для численного решения системы уравнений газовой динамики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Котенев В.П. Точная зависимость для определения давления на сфере при произвольном числе Маха сверхзвукового набегающего потока // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. №9. С. 141-148.
- [2] Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит, 1991. – 600 с.
- [3] Любимов А.Н., Русанов В.В. Течения газа около тупых тел. – М.: Наука, 1970. – 30 – 49с.
- [4] Shepard, Donald (1968). “A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data”. Proceedings of the 1968 ACM National Conference.
- [5] Лунев В.В., Магомедов К.М., Павлов В.Г. Гиперзвуковое обтекание при тупленных конусах с учетом равновесных физико-химических превращений. – М.: ВЦ АН СССР, 1968
- [6] Шапиро Е.Г. Исследование сверхзвукового обтекания сферы потоком воздуха при высокой статической температуре // Научные труды №19. Аэродинамика больших скоростей, 1972

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КАНОНИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО РАСЧЁТА ДАВЛЕНИЯ

В.Н. Булгаков¹, Д.А. Сапожников¹, Р.А. Рацлав², Н.М. Козырев²

¹АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

roma.ratslav@ya.ru

Modeling of neural networks for the classification of surfaces and recovery of the coefficients of the canonical equations for the subsequent calculation of pressure. V.N. Bulgakov¹, D.A.

Sapozhnikov¹, R.A. Ratslav², N.M. Kozyrev²

¹JSC "MIC" Mashinostroyeniya", Reutov, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В работе рассматривается задача определения давления на теле, которое может принадлежать к одному из двух классов поверхностей; эллипсоид и гиперболоид. В качестве входных данных используется регулярная четырехугольная поверхностная расчетная сетка. Для определения давления посредством начально-аналитических соотношений, необходимо указать класс поверхности, определить коэффициенты ее канонического уравнения. Для решения задачи классификации элементов построена искусственная нейронная сеть. По результатам классификации, входные данные передаются на вход одной из двух нейронных сетей для определения коэффициентов канонического уравнения, решается задача восстановления регрессии. Давление на поверхности тела определяется по известным[1] соотношениям.

Сравнение давления на целевых и восстановленных поверхностях демонстрирует погрешность сопоставимую с погрешностью ошибки регрессии. Также для сравнения было определено давление по методу Ньютона. В большинстве случаев применение целевых зависимостей к восстановленным поверхностям показывает более высокую точность по сравнению с применением формулы Ньютона для исходных поверхностей. В целом показано, что использование искусственной нейронной сети с последующим определением давления по аналитическим соотношениям носит оправданный характер.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. П. Котенев, Рацлав Р.А., Д. А. Сапожников, Чернышев И. В. Метод классификации элементов поверхности летательного аппарата для чис-

ленно-аналитического решения задач аэродинамики. — Математическое моделирование и численные методы, 2017 № 3 (15)

- [2] Каллан, Роберт. Основные концепции нейронных сетей. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. — 287 с.
- [3] Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
- [4] Джонс М.Т., Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 312 с.



Н.М. Козырев



* * *

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ НАДЁЖНОСТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В
ЧАСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ
РАБОТЫ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ**

А.А. Николаев, А.С. Ермолов, А.Е. Юдин, А.А. Шерминская
АО «Концерн «Моринсис-Агат», Москва, Россия
A.A.Nikolaev@yandex.ru

Development of a technology for ensuring the fulfillment of the reliability requirements of special IMS software for special purposes in terms of the probability of failure-free operation at the development and testing stages. A.A. Nikolaev, A.S. Ermolov, A.E. Yudin, A.A. Sherminskaya
JSC Morinsis-Agat Concern, Moscow, Russia

Предложена и испытана методика динамического контроля процесса разработки специального программного обеспечения (СПО), с повышенными требованиями к показателю надёжности. К такому СПО относятся программные модули, возникновение ошибки в которых может повлечь крайне негативные последствия. Зачастую такое СПО используется в аэрокосмической отрасли, системах жизнеобеспечения, системах автоматизированного транспорта, атомной промышленности и системах военного назначения.

Целями применения разработанной методики являются эффективное распределение нагрузки тестирования между завершающими этапами разработки и доверительная оценка уровня надёжности ПО как в целом так и на каждом этапе в частности. Методика динамического контроля позволяет контролировать процесс доработки программного обеспечения путём исследования динамики показателя вероятности безотказной работы (ВБР).

Совместно с методикой динамического контроля разработана и применена комбинированная модель динамики показателя ВБР, сочетающая в себе простоту модели Джелинского-Моранды и точность интервальной оценки ВБР по схеме Бернулли.

В основу комбинированной модели динамики показателя ВБР положены следующие гипотезы: а) количество обнаруживаемых и исправляемых в единицу времени ошибок ПО пропорционально общему количеству ошибок присутствующих на данный момент; б) в процессе

исправления могут вноситься дополнительные ошибки, и их количество пропорционально объёму исправлений; в) КПД команды разработчиков положительно; д) на момент начала испытаний уже достигнута определенная степень надёжности ПО и вероятность возникновения в одном испытании отказа, связанного с несколькими ошибками мала.

В случае неудовлетворения условий разработки ПО данному набору гипотез предложенная методика предполагает возможность замены используемой модели динамики ВБР на более подходящую.

Исследуемое с применением предложенной методики СПО должно удовлетворять следующим требованиям: а) соответствие используемой модели динамики ВБР условиям, в которых производится разработка ПО; б) возможность четко определить критерий отказа СПО; г) относительная кратковременность выполнения поставленной перед СПО задачи для одного комплекта входных параметров (дискретность функционирования); д) в процессе тестирования и доработки, регулируемом настоящей методикой, никаких функциональных изменений в СПО не вносится, производится лишь исправление обнаруженных ошибок.

В процессе отработки методики динамического контроля показано, что данная методика позволяет: 1) сократить время и ресурсы затрачиваемые на тестирование ПО, в случае, если требуемая степень надежности на начальном этапе тестирования не достигнута; 2) оценить максимально достижимую в данных условиях разработки вероятность безотказной работы; 3) прогнозировать оставшееся количество этапов тестирования для достижения требуемой надежности; 4) получить на каждом этапе тестирования оценку вероятности безотказной работы и ее нижнюю границу по заданному уровню доверительной вероятности.



А.А. Николаев



ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АСУ С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ



В.А. Плотников

С.В. Миронов,

А.А. Николаев, В.А. Плотников

АО «Концерн «Моринсис-Агат», Москва, РФ

A.A.Nikolaev@yandex.ru

Experience in designing specialized ACS taking into account the features of cartographic information and spatial data. S.V. Mironov, A.A. Nikolayev, V.A. Plotnikov

JSC Morinsis-Agat Concern, Moscow, Russia

Активное развитие геоинформационных технологий, цифрового картографирования и дистанционного зондирования Земли в последние десятилетия привело повсеместному внедрению пространственных данных и новых методов их применения в АСУ. Под пространственными данными понимаются данные о пространственных объектах и их наборах (географические карты, космические и аэрофотоснимки, цифровые модели рельефа и местности, данные геодезических измерений и проч.). Особенности пространственных данных заключаются в специфике форм и методов их представления и разнообразии способов моделирования пространственных объектов, что обусловлено сложностью самих моделируемых объектов и их взаимосвязей. При организации пространственных данных в единую модель реальности формируется картографическая информация, которая строится по определённым математическим и семантическим законам картографии.

Наличие пространственных данных в информационных массивах АСУ обычно вызывает необходимость учёта их специфических свойств при реализации программного и информационного обеспечения АСУ. Заблаговременное рассмотрение свойств используемых пространственных данных на этапе проектирования АСУ может повысить качество предлагаемых решений и значительно снизить риски и стоимость последующих доработок во время испытаний и на этапе внедрения системы.

В данной работе выделена и описана роль пространственных данных в следующих подсистемах АСУ: внешнего взаимодействия,

организации и хранения данных, моделирования и анализа, подсистема графического интерфейса пользователя. Приводятся практические примеры из опыта проектирования специализированных АСУ, когда специфика пространственных данных и картографической информации привносит существенные сложности в разработку программного обеспечения при недостаточном учёте на этапе проектирования.

Показана системная близость организации и методов построения АСУ, использующих пространственные данные, с географическими информационными системами (ГИС). В связи с этим приводится набор доступных (с открытым исходным кодом) универсальных программных средств построения ГИС, который обеспечивает решение наиболее распространённых проблем использования пространственных данных. Также выделяется ряд задач обработки пространственных данных (обработка топологических отношений объектов, переклассификация атрибутов пространственных данных, автоматическая генерализация, создание картографического изображения), которые не имеют однозначных методов или достаточно разработанных алгоритмов решения и потому требуют обязательного предварительного рассмотрения и уточнения на этапе проектирования АСУ.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

И.С. Майданов¹, С.А. Смелов¹, И.В. Гадolina²

¹ АО ОНПП Технология им. А. Г. Ромашина, Обнинск, Россия

² Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва
gadolina@mail.ru

Methods for modeling random effects on elements of aerospace objects in quality assessment tasks. I.S. Maidanov¹, S.A. Smelov¹, I.V. Gadolina²

¹JSC «ORPE «Technologiya» named after A. G. Romashin, Obninsk, Russia

²Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Рассмотрены подходы, позволяющие оценить такой важный показатель качества, как долговечность при нерегулярном нагружении. Ввиду сложности рассматриваемого явления, обоснованно применение

экспериментов. Рассмотрены альтернативные подходы к моделированию случайного процесса нагружения, а именно, подходы, основанные на задании спектральных плотностей с моделированием (или воспроизведением) последовательности экстремальных значений случайного процесса. Оба этих подхода имеют свою специфику применения, которая и рассмотрена в данной статье.

При расчете долговечности на стадии распространения трещины (весьма актуальный для аэрокосмической техники вариант), где требуется учет влияния перегрузок на задержку усталостной трещины, подход не может быть применен. С другой стороны, для оценки долговечности миниатюрных элементов оборудования, испытателям потребуются эти методы.

Описан разработанный авторами подход моделирования случайной последовательности экстремумов по «адресной» марковской матрице. Проанализированы рассеивание и сходимость результатов в задачах оценки долговечности.



И.С. Майданов



И.В. Гадолина



**Секция №6
ММНТК-2019
Аэрокосмические технологии**

Руководители секции:



Бунак Валерий Александрович –
– зам. Генерального директора,
начальник ФБК АО «ВПК «НПО
машиностроения», кандидат экономических
наук, доцент каф. СМ-2 «Аэрокосмические
системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана



Колготин Алексей Викторович –
– начальник службы экономического анализа
АО «ВПК «НПО машиностроения»,
доктор физико-математических наук



Бадиков Григорий Александрович –
– доцент кафедры ИБМ-2
«Экономика и организация производства»
МГТУ им. Н.Э. Баумана
кандидат технических наук

МОДУЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ: ОСОБЕННОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

К.Ю. Белоносов, З.С. Терентьева, Д.Г. Ляхович
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
Kir-belonosov@yandex.ru

*The modular organizational structure of the enterprise: Features
and functional diagram. K.Yu. Belonosov, Z.S. Terentyeva, D.G.
Lyakhovich*
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Отсутствие эффективных управленческих решений по формированию и (или) изменению организационной структуры предприятия обусловлены недостаточной гибкостью и несовершенством используемых их руководством методов, моделей и механизмов [1, 2].

Модульная организационная структура предприятия формируется набором отдельных платформ, которые, соединяясь вместе, образуют единое целое [3]. Роль каждой платформы заключается в реализации тех или иных процессов предприятия. Каждая платформа образует совокупность модулей, схожих по своим характеристикам. Отношения и взаимодействия платформ определяются исходя из главной цели и (или) задач предприятия и вместе интегрируются в единое целое. Каждая платформа и формирующие ее модули функционируют как независимые подсистемы, имеют возможность самостоятельного регулирования, и в то же время остаются частями единого целого, что позволяет максимально гибко и эффективно реагировать на требования конкурентной среды [4, 5]. Такой тип организационной структуры позволяет руководству предприятия варьировать его структурой и перераспределять процессы в соответствии с изменениями внутренней и внешней среды.

Технологии, которые используются на предприятии, разрабатываются и реализуются модулями входной платформы как элементами функциональной схемы модульной организационной структуры предприятия. Взаимодействие между ними и всеми прочими модулями должно быть организовано по принципу внутреннего рынка – это позволит получать высокие результаты как их деятельности, так и модулей выходной платформы.

Производство продукции обеспечивается модулями выходной платформой как элементами функциональной схемы модульной организа-

ционной структуры предприятия. Они представляют собой набор частично или полностью самофинансируемых операционных единиц. Модули выходной платформы обеспечивают достижение предприятием главной цели и (или) задач, а их автономность и самостоятельность должна увеличиваться до тех пор, пока это не начинает сказываться на целостности и работоспособности всей организационной структуры.

Взаимодействие с потребителями, поиск и поддержка процессов реализации и продвижения результатов деятельности предприятия обеспечиваются модулями рыночной платформой как элемента функциональной схемы модульной организационной структуры предприятия. Ее процессами являются связи с общественностью, в том числе защита интересов потребителей внутри предприятия, а также реализации и продвижения готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бuryкин А.Д., Кваша В.А. Организационная структура управления предприятием и факторы, влияющие на ее эффективность // Экономика и управление: проблемы, решения. 2018. Т. 2. № 7. С. 55–64.
- [2] Ксенофонтова Т.Ю., Крикун В.П. Формирование организационной структуры управления предприятием в целях повышения уровня его конкурентоспособности // Экономика и менеджмент систем управления. 2018. Т. 30. № 4-2. С. 210–217.
- [3] Gharajedaghi J. Systems thinking: Managing chaos and complexity: A platform for designing business architecture. SanFrancisco: MorganKaufmannPubl., 2011. 376 p.
- [4] Анисимов С.Н., Ляхович Д.Г., Федорова Е.Н. Организация и управление деятельностью структур инновационного типа. Технология и инструменты реализации предпринимательских проектов /Под ред. И.Н. Омельченко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 172 с.
- [5] Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Физматлит, 2012. 604 с.



РАСЧЕТ СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИМ ОБОРУДОВАНИЕМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ВЫБОРЕ ЗАКУПАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.А. Николаев¹, Н.С. Николаева²

¹АО «Концерн «Моринсис-Агат», Москва, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

A.A.Nikolaev@yandex.ru

Calculation aggregate the cost of ownership (TCO) of metalworking equipment and the use of TCO when choosing purchased equipment.

A.A. Nikolaev¹, N.S. Nikolaeva²

¹JSC Morinsis-Agat Concern, Moscow, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В настоящее время современная экономическая наука предлагает универсальный метод интегральной оценки затрат по приобретению и владению материальными объектами. Это метод основан на использовании критерия под названием «Total Cost of Ownership» (ТСО) – «совокупная стоимость владения». В работе приведено исследование по расчету и оптимизации совокупной стоимости владения (ТСО) металлообрабатывающим оборудованием.

Под стоимостью владения в данной работе понимается суммарная величина расходов, которые несет владелец металлообрабатывающего оборудования в течение срока его целевого использования. ТСО оборудованием и в частности металлорежущим является важной технико-экономической характеристикой. Этот параметр оказывает непосредственное влияние на эффективность использования оборудования и во многих случаях играет определяющую роль при непосредственном осознанном выборе модели металлорежущего станка для решения необходимых задач.

Данная методика позволяет получить достоверные оценки стоимости владения металлообрабатывающим оборудованием. В данной работе рассматривается использование метода расчета ТСО на этапе всего срока службы металлообрабатывающего оборудования, с момента его приобретения, доставки и монтажа, в процессе непосредственного использования, технического обслуживания и ремонтов и вплоть до завершения эксплуатации.

Проблема определения стоимости владения возникает, как правило, перед принятием решения о покупке металлообрабатывающего

оборудования. Наиболее вероятны следующие ситуации, в которых со стороны потенциальных либо действительных владельцев металлообрабатывающего оборудования может проявляться интерес к данным о стоимости владения:

- 1) оценка доступности владения металлообрабатывающим оборудованием при заданных бюджетных ограничениях при проектировании или модернизации производства;
- 2) сравнение стоимости владения металлообрабатывающим оборудованием нескольких производителей с целью выбора оптимального варианта;
- 3) прогнозирование стоимости владения металлообрабатывающим оборудованием (оценка стоимости владения перед приобретением оборудования).

Точность и достоверность оценки стоимости владения металлообрабатывающего оборудования определяется следующими параметрами:

- качеством модели стоимости владения;
- объективностью данных (степенью соответствия между исходными данными, принятыми в расчете, и действительными параметрами владения);
- учетом факторов, влияющих на используемые ценовые данные.

Задача оценки стоимости владения металлообрабатывающего оборудования при заданных условиях эксплуатации должна быть решена в результате проведенного исследования, одной из целей которой – обеспечение максимально возможной достоверности прогноза.



Н.С. Николаева

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ЗАПУСК МНОГОРАЗОВЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ ТЯЖЕЛОГО И СВЕРХТЯЖЕЛОГО КЛАССОВ

Г.А. Бадиков, Э.Б. Мазурин, К.Н. Гончаров
МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Россия
mazurin@controlling.ru

*Modeling the cost of launching reusable heavy and superheavy
launch vehicles. G.A. Badikov, E.B. Mazurin, K.N. Goncharov*
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Обычно моделирование затрат используется для проверки смет подрядчиков, а также для получения независимой оценки стоимости системы, необходимой заказчику или другой финансирующей организации. В условиях конкуренции за коммерческие запуски значение моделирования затрат возрастает. Оно должно охватывать весь жизненный цикл космической системы, чтобы прекратить проект, если заданные ограничения будут превышены.

С другой стороны, уже на начальных стадиях проектирования мы можем определить экономически эффективные решения, которые отвечают техническим требованиям. Большую роль играет массовость производства элементов системы, методы управления предприятием и использование средств управления проектами [3].

Разработана комплексная модель формирования затрат на запуск многоразовой ракеты-носителя; она отличается от экономической модели затрат на запуск одноразовой ракеты-носителя [2] двумя обстоятельствами. Первое и самое важное: затраты на изготовление ракеты-носителя, составляющие около 70% всех затрат на запуск, заменяются амортизацией этих затрат, равной частному от деления затрат на изготовление на число повторных запусков (принято равным 4).

Второе обстоятельство связано с затратами двух новых этапов: возвратом ракеты-носителя на стартовый стол и ремонтом ее после полета. Эффективность инвестиционного проекта и срок окупаемости оценивается по чистому приведенному потоку платежей (NPV, Net Present Value).

В настоящее время в мире нет полностью многоразовых ракет-носителей, но уже заявлено о создании таких ракет-носителей. Это BFR (BigFalconRocket, Большая Ракета Фалькон), проектируемая Space X, и New Glenn, проектируемая Blue Origin.

Средние затраты на запуск ракеты-носителя BFR при 5 повторных запусках в год изменяются от 257,1 млн.\$ в первый год эксплуатации до 109,3 млн.\$ через 21 год инвестиционного проекта. Существенное сокращение на 108,9 млн.\$ или на 42,3% происходит в первые 5 лет. Для 10 повторных запусков в год мы видим аналогичную картину.

Снижение затрат на запуск с 168,8 млн.\$ до 76,2 млн.\$. За первые 5 лет сокращение на 65,9 млн.\$ или 39%. Для 20 повторных запусков в год мы видим аналогичную картину. Снижение затрат на запуск с 120,2 млн.\$ до 58,7 млн.\$. За первые 5 лет сокращение на 41,5 млн.\$ или 34,5%.

В расчетах эффективности инвестиционного проекта примем заявленную компанией Space X цену запуска 150 млн.\$. При 20 запусках в год и количестве повторных запусков 5, 10 и 20 на конец инвестиционного проекта длительностью в 21 год чистая приведенная величина потока платежей (NPV_{21}) равна соответственно -5,606, 4,741 и 10,285 млрд. \$. При 10 и 20 повторных запусках окупаемость достигается за 5 и 10 лет соответственно. При 5 повторных запусках окупаемость не достигается за время инвестиционного проекта.

Средние затраты на запуск ракеты-носителя New Glenn при 5 повторных запусках в год изменяются от 86,2 млн.\$ в первый год эксплуатации до 36,8 млн.\$ через 21 год инвестиционного проекта. Существенное сокращение на 36,4 млн.\$ или на 42,3% происходит в первые 5 лет. Для 10 повторных запусков в год мы видим аналогичную картину. Снижение затрат на запуск с 56,8 млн.\$ до 25,7 млн.\$. За первые 5 лет сокращение на 31 млн.\$ или 54,8%. Для 20 повторных запусков в год мы видим аналогичную картину. Снижение затрат на запуск с 40,6 млн.\$ до 19,9 млн.\$. За первые 5 лет сокращение на 14 млн.\$ или 34,5%.

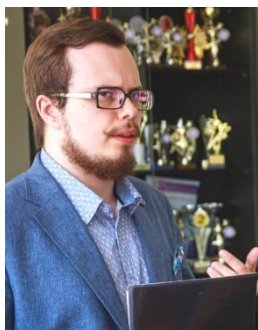
В расчетах эффективности инвестиционного проекта примем заявленную компанией BlueOrigin цену запуска 45 млн.\$. При 20 запусках в год и количестве повторных запусков 5, 10 и 20 на конец инвестиционного проекта длительностью в 21 год чистая приведенная величина потока платежей (NPV_{21}) равна соответственно -2,566, 0,887 и 2,737 млрд. долл. При 20 и 10 повторных запусках окупаемость достигается за 5 и 12 лет соответственно. При 5 повторных запусках окупаемость не достигается за время инвестиционного проекта.

Таким образом, использование многоразовых ракет-носителей позволяет существенно снизить затраты на запуск. Поэтому ракеты-носители BFR и New Glenn изначально имеют преимущество перед остальными ракетами-носителями тяжелого класса (Ангара, Arian, SLS, Vulkan), так как проектируются многоразовыми.

Моделирование показывает, что при числе повторных запусков больше 20 и стоимости выведения 1 кг полезного груза на орбиту Земли порядка 1000\$ окупаемость инвестиционных проектов может составить 3-5 лет, приемлемых для частного капитала.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. James R. Wertz, Economic model of reusable vs. expendable launch vehicles, IAF Congress, Rio de Janeiro, Brazil Oct. 2–6, 2000.
- [2]. Бадиков Г.А., Зуев А.Г., Левашов Р.Д. Экономическое моделирование затрат на запуск ракеты-носителя.// Труды секции 22 имени академика В.Н. Челомея Академических чтений по космонавтике «Ракетные комплексы и ракетно-космические системы. Проектирование, экспериментальная отработка, летные испытания, эксплуатация». АО «ВПК «НПО машиностроения», 2017. С.129-139.
- [3]. Фалько С. Г. Концепция построения ситуационного центра в ракетно-космической отрасли. //Инновации в менеджменте. 2018. №4(18). с.2-3



К.Н. Гончаров



МОДЕЛЬ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МКС

Г.А.Бадиков, Э.Б.Мазурин, Р.М. Хамуков
МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Россия
mazurin@controlling.ru

*Model of costs for conducting experiments on the ISS
G.A. Badikov, E. B. Mazurin, R. M. Hamukov
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

Сегодня на борту российского сегмента МКС находится более 30 комплексов научной аппаратуры и оборудования, готового к использованию при проведении космических экспериментов. С помощью данного оборудования можно осуществлять различные физико-химические, биологические, биотехнологические и медицинские эксперименты; изучать подстилающую поверхность Земли и космическое излучение; исследовать реакцию органов человека на факторы космического полета и определенные условия; создавать новые материалы; испытывать различные инновационные методики медицинского обеспечения [1, 2].

Разнообразие научных комплексов на борту МКС в совокупности с условиями микрогравитации космоса, продолжительное время привлекают частные коммерческие организации, желающие провести космические эксперименты, касающиеся многих отраслей. Подобное сотрудничество должно привлечь для госкорпорации «Роскосмос» прибыль, которая бы позволила составить конкуренцию странам с собственной космической программой, тем самым улучшив экономику страны. Однако тяжело преодолимые барьеры коммерциализации космоса в России отсеивают возможное сотрудничество, и как следствие потенциально-возможную прибыль для российского космоса [3].

С 2018 года «Роскосмос» открыл возможности для партнеров и потенциальных заказчиков в проведении коммерческих космических экспериментов. Заинтересованные научные и образовательные организации могут принять участие в коммерческих программах организации научно-прикладных экспериментов на борту Международной космической станции. Эксперименты и исследования в условиях микрогравитации могут быть реализованы с использованием уже размещенной на российском сегменте МКС научной аппаратуры.

Первое научное исследование, проведенное на борту МКС по заказу российской частной организации «3D Bioprinting Solutions» показало эффективность перехода к коммерческим космическим экспери-

ментам [4]. На примере данного эксперимента разработана модель затрат на проведение экспериментов на МКС. Модель включает в себя все стадии работ по проведению космического эксперимента. На базе разработанной модели получены результаты расчетов стоимости проведения космического эксперимента на российском сегменте МКС для двух вариантов развития событий: пессимистический и оптимистический.

При пессимистическом сценарии затрат компания «3D Bioprinting Solutions» покрыла бы затраты на всех этапах подготовки космического эксперимента, которые составили приблизительно 28,305 млн. рублей.

При оптимистическом сценарии эксперимент был включен в этапную программу научно-прикладных исследований на МКС. В таком случае доставка, проведение эксперимента на борту МКС, возвращение материалов финансировались из средств Федеральной космической программы. Затраты компании «3D Bioprinting Solutions» составили 4,5 млн. рублей.

ЛИТЕРАТУРА.

- [1] ГОСТ Р 52017-2003. Аппараты космические. Порядок подготовки и проведения космического эксперимента – Введ. 2004-01-01. – М.: Изд-во стандартов.
- [2] РИА Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.aboutspacejournal.net/global2000 – «Валентин Уваров: мы все хотели опередить США по биопечати в космосе» – (дата обращения 21.12.2018).
- [3] Иваницкая В.В., Цветных А.В. Коммерциализация частных космических проектов // Современные проблемы экономической теории и регионалистики. 2017. С. 130-146.
- [4] РОСКОСМОС Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/25244> – «Роскосмос. Коммерческие научные эксперименты на МКС теперь реальны» – (дата обращения 27.06.2018).



Р.М. Хамуков



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ

Г.А.Бадиков, А.П. Малынов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

map1994@mail.ru

Cost modeling for the main stages of the lunar program.

G.A. Badikov, A.P. Malynov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Сейчас с большой долей вероятности можно сказать о старте новых лунных состязаний. Планы строительства лунной станции освещают, по крайней мере, США, Россия, Китай, Индия, Япония и страны Евросоюза. В связи с этим актуальной является задача определения расходов на основные этапы лунной программы: транспортная система; окололунная станция; станция на Луне. Необходимо произвести расчет экономической эффективности инвестиционного проекта по созданию ракеты-носителя SLS (Space Launch System) и оценить его окупаемость. Выполнить моделирование затрат на запуск ракет-носителей SLS при одном и десяти запусков в год.

Угруппированная оценка стоимости лунной программы[1-3] дает интервал 34 – 61 млрд. долл. Транспортная система (на основе ракеты-носителя SLS): минимум 12 млрд. долл. (разработка 7 млрд. долл. и 10 запусков по 500 млн. долл.); максимум 35 млрд. долл. Затраты на окололунную станцию (на примере Deep Space Gateway) составят 12 млрд. долл. Станция на Луне (на примере проекта Луна 7) будет стоить приблизительно 10 – 14 млрд. долл. Если учесть, что в процессе реализации оценка затрат на МКС практически удвоилась, то получим 70 – 122 млрд. долл. Величина, сравнимая с затратами на МКС, что может косвенно свидетельствовать о близости к реальным затратам. Очевидно, что реализация такой программы возможна только на основе тесного международного сотрудничества.

Проект по созданию и использованию сверхтяжелой одноразовой ракеты-носителя SLS с разной степенью интенсивности развивается с начала века. Однако экономическая эффективность этого проекта [4] и его окупаемость не рассматривалась. Разработана экономическая модель затрат на запуск сверхтяжелой одноразовой ракеты-носителя, позволяющая учесть модификацию ракеты-носителя в процессе эксплуатации и изменяющееся число запусков в год. Экономическая модель

позволяет определить эффективность инвестиционного проекта путем определения чистого приведенного потока платежей, а также окупаемости инвестиционного проекта.

Затраты на запуск ракеты-носителя определяются как сумма затрат на изготовление, выполнение полета и страхование ракеты-носителя. Средние затраты на запуск ракеты-носителя SLS при 10 запусках в год изменяются от 310 млн.\$ в первый год эксплуатации до 126 млн.\$ через 21 год инвестиционного проекта. Существенное сокращение на 132 млн.\$ или на 72% происходит в первые 5 лет. Для 1 запуска в год мы видим аналогичную картину. Снижение затрат на запуск с 436 млн.\$ до 214 млн.\$. За первые 5 лет сокращение на 137 млн.\$ или 62%. Определена эффективность инвестиционного проекта при 1 и 10 запусках в год и цене одного запуска 500 млн. \$. На конец инвестиционного проекта длительностью в 21 год чистая приведенная величина потока платежей (NPV_{21}) равна соответственно - 4650 и 27990 млн. \$. Отрицательная величина чистого приведенного потока платежей означает, что окупаемость этого проекта невозможна. Окупаемость проекта при 10 запусках в год достигается за 3,2 года. Это приемлемо для коммерческих проектов, но такой полезной нагрузки не планируется.

Разработана модель расчета затрат на создание станции на Луне (на примере проекта «Луна Семь», предложенным компанией «Лин Индастриал»). Затраты на строительство лунной станции определяются как сумма затрат на разработку спутника связи, управляемого лунохода, жилых, служебных, складских и научных модулей, системы электрообеспечения, защитного ограждения, доставку полезной нагрузки, доставку экипажа на поверхность Луны. Суммарные затраты находятся в пределах 10 – 14 млрд. \$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.О. Майборода. Лунная и инопланетная база – новые возможности создания и эксплуатации. Актуальные проблемы российской космонавтики: Труды XXXVII академических чтений по космонавтике. Москва, январь-февраль 2013г. / Под общей редакцией А.К. Медведевой. – М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2013. – 647 с.
- [2] Бадиков Г.А., Зуев А.Г., Левашов Р.Д. Экономическое моделирование затрат на запуск ракеты-носителя.// Труды секции 22 имени академика В.Н. Челомея Академических чтений по космонавтике «Ракетные комплексы и ракетно-космические системы. Проектирование, экспериментальная отработка, летные испытания, эксплуатация». АО «ВПК «НПО машиностроения», 2017. С.129-139.

- [3] Феоктистов К.П. Космическая техника. Перспективы развития: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 172 с.
- [4] Фалько С. Г. Концепция построения ситуационного центра в ракетно-космической отрасли. //Инновации в менеджменте. 2018. №4(18). с.2-3.



А.П. Малынов



СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Г.А. Бадиков, М.С. Лаптева
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

*Comparative modeling of the life cycle costs of space tourism support
systems G.A. Badikov, M.S. Lapteva*
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Частная российская компания КосмоКурс создает многоразовую систему космического туризма с ценой полета одного туриста в 250 тыс. долл. По результатам численного моделирования срок окупаемости выше приемлемого (3-5 лет). Окупаемость в 3,4 года возможна при цене 350 тыс. долл. и затратах на изготовление первых экземпляров спускаемого аппарата и ракеты-носителя 13 и 7 млн. долл.

Появление в ракетно-космической отрасли частных коммерческих компаний требует разработки инновационных методов управления и организации, основанных на моделировании процессов и расчетах эффективности инвестиционных проектов [1, 2, 3]. Наиболее актуально это в пилотируемой космонавтике: проведении исследований на МКС и космическом туризме. Компания ООО «КосмоКурс» занимается созданием многоразового суборбитального космического комплекса для туристических полётов, состоящего из ракеты-носителя и спускаемого аппарата.

Затраты жизненного цикла системы космического туризма (C_z) определяются как сумма затрат на изготовление, выполнение полета, возврат на землю, ремонт, утилизацию и страхование системы, состоящей из ракеты-носителя и спускаемого аппарата. Основываясь на поэтапном методе расчета издержек и представлениях о кривой обучения (роста производительности труда), разработана комплексная модель формирования затрат жизненного цикла системы космического туризма. Она позволяет оценить эффективность инвестиционного проекта и срок окупаемости по NPV (Net Present Value, чистому приведённому потоку платежей).

$$NPV_k = -A_0 + \sum_{n=1}^k \left(\frac{\sum_{j=12(n-1)+1}^{12n} (12 \cdot 10 \cdot 6 \cdot \text{Pr} - (Cu_j + Cn_j + Cв_j + Cs_j + Cy_j + Cc_j))}{(1+i)^n} \right)$$

где k – номер года, для которого считаем NVP, A_0 – стоимость разработки, j – номер комплекта в k -ом году, Pr – цена полёта 1 туриста, i – ставка инвестиционного проекта (3%), Cu – затраты на изготовление ракеты-носителя; Cn – затраты на обеспечение полета; $Cв$ – затраты на возврат ракеты-носителя на стартовую площадку; $Cс$ – затраты на ремонт ракеты-носителя; $Cу$ – затраты на утилизацию; $Cс$ – затраты на страхование ракеты-носителя.

Полученная комплексная модель формирования затрат жизненного цикла системы космического туризма показывает, что сократить стоимость запуска можно за счет увеличения количества запусков в год и числа повторных запусков одной и той же ракеты-носителя.

Это дает возможность определить параметры инвестиционного проекта по созданию и эксплуатации системы космического туризма с приемлемой для коммерческого проекта оборачиваемостью в пределах от 3 до 5 лет.

Моделирование показывает, что цена полета одного туриста в 250 тыс. долл., предполагаемая компанией КосмоКурс, возможна при окупаемости в 13,1 года, что не приемлемо для коммерческого инвестиционного проекта. Окупаемость в 3,4 года возможна при цене 350 тыс. долл. и других принятых исходных данных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] James R. Wertz, Economic model of reusable vs. expendable launch vehicles, IAF Congress, Rio de Janeiro, Brazil Oct. 2–6, 2000.
- [2] Бадиков Г.А., Зуев А.Г., Левашов Р.Д. Экономическое моделирование затрат на запуск ракеты-носителя.// Труды секции 22 имени академика В.Н. Челомея Академических чтений по космонавтике «Ракетные комплексы и ракетно-космические системы. Проектирование, экспериментальная отработка, летные испытания, эксплуатация». АО «ВПК «НПО машиностроения», 2017. С.129-139.
- [3] Фалько С. Г. Концепция построения ситуационного центра в ракетно-космической отрасли. //Инновации в менеджменте. 2018. №4(18). с.2-3.



М.С. Лаптева



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МКА НА БАЗЕ ОТКРЫТОЙ МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Г.А. Щеглов, Е.Р. Салиев, Н.Н. Тютюнник
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
Shcheglov_ga@bmstu.ru

The economic model of a small spacecraft based on open modular architecture. G.A. Scheglov, E.R. Saliev, N.N. Tyutyunnik
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Одна из текущих подзадач освоения околоземного космического пространства – индустриальное освоение низких околоземных орбит (НОО), на данный момент уже поставлены задачи вывода больших, более тысячи аппаратов, группировок КА. Однако, анализ засоренности околоземного пространства, факты столкновения спутников свидетельствуют о том, что дальнейшее продолжение экспансивной технологии запусков одноразовых КА, по крайней мере, в областях НОО и геостационарной орбиты, фатально опасно для будущей космонавтики. Это означает, что автоматический космос надо так же обслуживать, как сегодня обслуживаются пилотируемые объекты. Речь идёт, в первую очередь, о ремонте, а также заправке и модернизации.

В эпоху четвертой промышленной революции всё больше организаций и специалистов в области проектирования беспилотных космических аппаратов интересуются разбиением аппаратов на функциональные блоки – так называемой модульной архитектурой. Такая архитектура позволила бы оптимальным образом производить обслуживание беспилотных КА, однако вызывает вопросы экономической стороны проекта. Авторы данной работы рассматривают вопросы экономической эффективности систем, спроектированных по модульному принципу.

В рамках работы составлена параметризованная математическая модель доходов и издержек, возникающих при запуске и обслуживании систем МКА, выполненных по модульному и традиционному принципам. Основными параметрами в модели являются масса аппаратов, стоимость запуска, общее количество аппаратов в системе, а также вероятность их отказа.

Показано, что затраты на запуск и поддержание группировки модульных аппаратов при их определённом, большом количестве уравниваются с затратами на запуск группировки традиционных КА, и при

дальнейшем увеличении размеров группировки модульная архитектура оказывается значительно выгоднее.

Сравнительный анализ показывает, что существуют достаточно широкие диапазоны параметров, в которых модульная архитектура обеспечивает существенную выгоду. Таким образом, имеет смысл проведение дальнейшего, более глубокого анализа экономической эффективности модульных систем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А. О проектировании малого космического аппарата на основе открытой модульной архитектуры. Космонавтика и ракетостроение, 2019, 1(106), 131-142. ISSN – 1994-3210
- [2] NovaWurks [Электронный ресурс] Services: Conformal Spacecraft Services. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=4>
- [3] iBOSS [Электронный ресурс] iBOSS. URL: <http://www.iboss-satellites.com/iboss/>
- [4] Internet Archive WayBack Machine [Электронный ресурс] Kibo Japanese Experimental Module. URL:
- [5] <https://web.archive.org/web/2020070817184549/http://kibo.jaxa.jp/en/>



Е.Р. Салиев



РОЛЬ НИОКР ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА КОНТРАКТЫ ПОЛНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

О.М. Юсуfoва

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

yusufova@bmstu.ru

The role of R&D in the transition to full life cycle contracts.

O.M. Yusufova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В настоящее время в промышленном комплексе России проводятся работы по созданию системы управления полным индустриальным циклом производства наукоемкой продукции – от моделирования и проектирования до серийного выпуска изделий, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации.

В целях повышения эффективности использования выделяемых финансовых ресурсов предусматривается заключение между государственными заказчиками и организациями-производителями контрактов полного жизненного цикла как нормативно-правовых документов о государственно-частном партнерстве, предусматривающих соглашения не только о разработке и производстве наукоемкой продукции, а также и об их сервисной поддержке и ремонте. Реализация контрактов полного жизненного цикла наукоемкой продукции предусматривает разработку и внедрение стандартов их информационной поддержки в интересах снижения рисков за счет информационно-технологической интеграции стадий разработки, производства, эксплуатации образцов и ориентации их на получение конечного результата.

Стадия научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) играет определяющую роль в достижении требуемых параметров полного жизненного цикла наукоемкой продукции. Именно на стадии НИОКР определяются основные планово-экономические параметры, в том числе прогнозные значения стоимостных и временных параметров, а также риски реализации всех стадий жизненного цикла наукоемкой продукции [1]. На стадии НИОКР может быть устранено до 80-90% неопределенности и рисков возникновения непредсказуемых финансовых, временных и других ресурсных затрат на серийные поставки, эксплуатацию, капитальный ремонт и утилизацию. Значительная продолжительность стадии НИОКР, достигающая 20-40% от общей продолжительности жизненного цикла (ЖЦ) наукоемкой продукции

(без учета эксплуатации и утилизации), оказывает существенное влияние на объемы поставок наукоемкой продукции и продолжительность ее эффективной эксплуатации. Затягивание сроков разработки наукоемкой продукции, а также ошибки прогнозов продолжительности НИОКР, приводят к увеличению ее стоимости, однако необоснованное сокращение сроков выполнения НИОКР приводит к возрастанию рисков ее успешной реализации. Чем детальнее на стадии НИОКР проработаны технологические проблемы серийного производства, процедуры сервисного обслуживания и ремонта на стадии эксплуатации, технологии разборки и ликвидации компонентов системы на стадии утилизации, тем менее затратной будет реализация данных стадий ЖЦ [2]. При этом стоимость выполнения самой НИОКР может несколько возрасти по сравнению с другими вариантами, не учитывающими особенности выполнения последующих стадий ЖЦ.

Таким образом, в условиях перехода на контракты полного жизненного цикла принятие управленческих решений по созданию наукоемкой продукции на стадии НИОКР должно осуществляться на основе критерия минимизации затрат за весь жизненный цикл наукоемкой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Юсуфова О.М. Обоснование состава планово-экономических параметров НИОКР при создании инновационной продукции // XLIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства (Москва, 29 янв. – 1 фев. 2019 г.): сб. тез. всеросс. науч. конференции / РАН [и др.]; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». М: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. Т. 1. С. 176-178
- [2] Юсуфова О.М. Оценка экономически оптимального срока эксплуатации промышленной продукции при организации ее производства // Экономика и предпринимательство. 2017. № 12. С. 1277-1279.

* * *

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ РАБОТ

Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана

<i>№ п/п</i>	<i>Ф.И.О.</i>	
1.	Абрамова Елизавета Николаевна	Студентка фак. СМ, каф. СМ-13
2.	Бадиков Григорий Александрович	к.т.н., доцент каф. ИБМ-2
3.	Белокуров Евгений Александрович	студент фак. ОЭ, РЛ-2
4.	Белоносов Кирилл Юрьевич	магистрант каф. ИБМ-3
5.	Березовский Андрей Валерьевич	к.т.н., доцент каф. СМ-2
6.	Болотских Антон Александрович	студент фак. АК, каф. ИУ-1
7.	Борзенков Марк Андреевич	студент фак. АК, каф. СМ-2
8.	Булавкин Владимир Николаевич	студент фак. АК, каф. СМ-2
9.	Быков Никита Валерьевич	к.т.н., доцент каф. СМ-6
10.	Варенцов Вячеслав Витальевич	к.т.н., доцент каф. ФН-3
11.	Георгиев Александр Федорович	к.т.н., доцент каф. СМ-2
12.	Гончаров Кирилл Николаевич	студент фак. АК, ИУ-1
13.	Гребенева Юлия Владимировна	студент фак. СМ, каф. СМ-3
14.	Грибков Владимир Арсеньевич	к.т.н., доцент каф. СМ-2
15.	Гришко Дмитрий Александрович	к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-3
16.	Дородный Никита Сергеевич	студент фак. СМ, каф. СМ-2
17.	Жашуев Алим Эльдарович	студент факультета АК, каф. СМ-2
18.	Заварзин Валерий Иванович	декан фак. РТ, д.т.н., проф. каф. РЛ-2
19.	Зубов Николай Евгеньевич	декан фак. РКТ, д.т.н., проф. каф. ИУ-1
20.	Ибрахим Муханнад	аспирант фак. ИУ (Сирия)

21.	Каледин Сергей Борисович	к.т.н., доцент каф. РЛ-2
22.	Каменев Никита Дмитриевич	студент фак. АК, каф. СМ-2
23.	Кашфутдинов Булат Дамирович	ассистент каф. СМ-2
24.	Козырев Никита Максимович	студент фак. АК, каф. СМ-2
25.	Криушин Владимир Андреевич	студент фак. СМ, каф. СМ-3
26.	Лапин Алексей Владимирович	ассистент каф. ИУ-1
27.	Лаптева Маргарита Сергеевна	студент фак. АК, каф. СМ-2
28.	Леонов Виктор Витальевич	к.т.н., доцент каф. СМ-1
29.	Лотов Александр Игоревич	студент факультета РТ
30.	Лукашин Павел Сергеевич	аспирант каф. СМ-2
31.	Лукьянов Вадим Викторович	к.т.н., доцент каф. ИУ-1
32.	Луценко Александр Юрьевич	к.т.н., доцент каф. СМ-3
33.	Лю Хао	аспирант каф. СМ-13
34.	Ляхович Дмитрий Геннадьевич	старший преподаватель каф. ИБМ-3
35.	Мазурин Эдуард Борисович	к.т.н., доцент каф. ИБМ-2
36.	Майорова Вера Ивановна	д.т.н., профессор каф. СМ-1
37.	Малынов Антон Павлович	студент факультета АК, каф. ИУ-1
38.	Марчевский Илья Константинович	к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-2
39.	Назарова Динара Камилевна	ассистент каф. СМ-3
40.	Николаева Наталья Семеновна	старший преподаватель каф. МТ-1
41.	Полубарьев Игорь Николаевич	студент фак. АК, каф. СМ-2
42.	Пучков Андрей Сергеевич	студент фак. АК, каф. ФН-11
43.	Рацлав Роман Алексеевич	студент фак. АК, каф. ФН-11

44.	Резник Сергей Васильевич	д.т.н., профессор, зав. каф. СМ-13
45.	Рязанкин Никита Сергеевич	студент фак. ОЭ, каф. РЛ-2
46.	Салиев Евгений Решатович	студент фак. АК, каф. СМ-2
47.	Сидоров Игорь Алексеевич	студент фак. СМ, каф. СМ-3
48.	Симоньянц Ростислав Петрович	декан фак. АК, к.т.н., доц. каф. СМ-2
49.	Скворцова Наталья Александровна	студент факультета СМ, каф. СМ-3
50.	Соколов Александр Павлович	к.ф.-м.н., доцент каф. РК-6
51.	Стогний Михаил Владимирович	студент фак. АК, каф. СМ-2
52.	Сулимов Валерий Дмитриевич	старший преподаватель каф. ФН-3
53.	Тарасов Валерий Александрович	студент факультета АК, каф. СМ-2
54.	Терентьева Зинаида Сергеевна	к.т.н., доцент каф. ИБМ-3
55.	Тонких Евгений Геннадьевич	студент фак. АК, каф. ФН-11
56.	Тютюнник Николай Николаевич	студент фак. АК, каф. СМ-2
57.	Филонова Полина Андреевна	студент фак. ОЭ, каф. РЛ-2
58.	Хамуков Резуан Мухамедович	студент фак. АК, каф. СМ-2
59.	Худайбергенов Борислав Рустамович	студент фак. АК, каф. СМ-2
60.	Шестаков Илья Ефимович	студент фак. СМ, каф. СМ-6
61.	Шкапов Павел Михайлович	д.т.н., профессор, зав. каф. ФН-3
62.	Щеглов Георгий Александрович	д.т.н., профессор, зам. зав. каф. СМ-2
63.	Юсуфова Ольга Михайловна	к.э.н., доцент каф. ИБМ-6
64.	Юхновец Илья Вадимович	студент фак. АК, каф. СМ-2
65.	Якубовский Станислав Владимирович	студент фак. ОЭП, каф. РЛ-2

Акционерное общество
«Военно-промышленная корпорация
«НПО машиностроения» (г. Реутов, М.О.)

66.	Аверьянов Павел Владимирович	зам. нач. отдела
67.	Авдяков Дмитрий Анатольевич	инженер II категории
68.	Булгаков Владислав Николаевич	инженер, аспирант
69.	Гордин Ярослав Денисович	инженер-конструктор III кат.
70.	Горский Валерий Владимирович	главный научный сотрудник, д.т.н.
71.	Дергачев Сергей Александрович	инженер-конструктор I кат., к.т.н.
72.	Дмитриева Александра Анатольевна	инженер-конструктор, аспирант
73.	Дорогов Артем Александрович	инженер, аспирант
74.	Иванов Михаил Юрьевич	старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-11 МГТУ
75.	Ковальский Михаил Георгиевич	инженер I кат., аспирант
76.	Колготин Алексей Викторович	начальник службы, д.ф.-м.н.
77.	Котенев Владимир Пантелеевич	начальник отдела, д.т.н., профессор каф. ФН-11 МГТУ
78.	Маслов Александр Иванович	Зам. руководителя СМК, д.т.н., проф. каф. ИУ-1 МГТУ
79.	Пилипчук Сергей Васильевич	инженер
80.	Реш Георгий Фридрихович	первый зам. начальника отделения, к.т.н., доцент каф. СМ-2 МГТУ
81.	Реш Владислава Георгиевна	инженер I кат., соискатель к.т.н.
82.	Сапожников Денис Алексеевич	инженер 2 кат., аспирант каф. ФН-11
83.	Шалыга Сергей Владимирович	инженер 2 кат.
84.	Шевченко Валерий Владимирович	инженер-конструктор I кат.

ФГУ "Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша"

85.	Баранов Андрей Анатольевич	инженер
86.	Клименко Александр Геннадьевич	ведущий инженер
87.	Кудинов Александр Сергеевич	зам. нач. отдела, к.т.н.
88.	Ольховская Виктория Валерьевна	инженер
89.	Юрченко Ирина Ивановна	д.т.н., главный научный сотрудник

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

90.	Акилин Владимир Иванович	профессор, к.т.н.
91.	Курбанов Якуб Мухсатулы	магистрант
92.	Тузиков Сергей Анатольевич	старший преподаватель

ФБУ науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

93.	Гадолина Ирина Викторовна	с.н.с., к.т.н.
94.	Думанский Александр Митрофанович	заведующий лабораторией, д.ф.-м.н.

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН

95.	Кеворков Сумбат Славикович	м.н.с.
96.	Ковалева Маргарита Алексеевна	к.ф.-м.н., старший научный сотрудник
97.	Королева Ирина Павловна	к.ф.-м.н., научный сотрудник
98.	Маневич Леонид Исаакович	д.т.н., профессор, заведующий лабораторией
99.	Смирнов Валерий Валентинович	к.ф.-м.н., старший научный сотрудник
100.	Хамидуллин Руслан Камилевич	инженер исследователь, аспирант

«Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

101.	Алексеева Мария Михайловна	магистрант
102.	Брыков Никита Александрович	старший преподаватель, к.т.н.
103.	Вихрова Ирина Андреевна	магистрант

АО «Концерн «Моринформсистема-Агат»

104.	Ермолов Андрей Сергеевич	инженер-программист 1 кат.
105.	Миронов Сергей Валерьевич	инженер
106.	Николаев Андрей Анатольевич	нач. отд., к.ф.-м.н.
107.	Плотников Владимир Александрович	инженер-программист 1 кат.
108.	Шерминская Анна Алексеевна	инженер-программист 2 кат.
109.	Юдин Александр Евгеньевич	нач. сектора

АО «НПО Лавочкина»

110.	Зверев Алексей Валентинович	ведущий инженер-конструктор
111.	Ильясов Мансур Фаукатович	главный конструктор телескопа Т-170М, ведущий инженер-конструктор
112.	Моисеев Александр Александрович	к.т.н., руководитель ОТР «Спектр-УФ», ведущий конструктор

Другие организации

113.	Агафонов Кирилл Владимирович	АО «Корпорация «Стратегические пункты управления», зам. начальника отдела, к.т.н.
114.	Бабашов Владимир Георгиевич	ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, к.т.н.
115.	Денисов Сергей Юрьевич	ПАО "МИЭА", вед. инженер, аспирант
116.	Смирнов Александр Александрович	ПАО "МИЭА", нач. отдела
117.	Майданов Игорь Сергеевич	АО ОНПП Технология им. А. Г. Ромашина

118.	Смелов Сергей Александрович	АО ОНПП Технология им. А. Г. Ромашина
119.	Пахомов Тимофей Константинович	3-я научная рота Космических Войск Воздушно-космических Сил, магистр
120.	Скворцов Константин Григорьевич	АО "Авангард", нач. сектора
121.	Федотов Денис Александрович	АО "Авангард", инженер 1 кат.
122.	Соколов Андрей Павлович	м.н.с., к.ф.-м.н. МГУ имени М.В. Ломоносова
123.	Сулимов Андрей Валерьевич	Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, ст. преподаватель кафедры физики
124.	Некрасов Иван Васильевич	ФГБУН Институт Проблем Управления РАН, с.н.с., к.т.н.

Иностранные участники

Emri Igor	doctor of science, professor, academician of the Slovenian Academy of Sciences and Arts
Wolfgang Griethe	doctor of engineering, professor, managing director G2Aerospace GmbH, Germany
Jonas Trojer	University of Ljubljana
Alexandra Aulova	Center for Experimental Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana
Ибрахим Муханнад	аспирант факультета ИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Сирия
Лю Хао	аспирант каф. СМ-13 МГТУ им. Н.Э. Баумана, Китай

Научное издание

Аэрокосмические технологии, 2019:

Научные материалы
Международной молодежной научно-технической
конференции «Аэрокосмические технологии»,
посвящается 105-летию со дня рождения
академика В.Н. Челомея.
28 мая 2019 года,
Реутов

Ответственный редактор
Симоньянц Р.П.

Фотографии *Куркова М.А. и Кушлевича С.О.*
Компьютерная верстка *Куркова М.А.*

Подписано в печать 20.02.2020
Формат 60х90/16. Усл. п. л. 16,3
Тираж 250 экз.

Совместное издание
АО «ВПК «НПО машиностроения»
и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Типография АО «ВПК «НПО машиностроения»
143966, Московская область, Реутов, ул. Гагарина, 35
5088722@vpk.npomash.ru

ISBN 978-5-7038-5217-0