

XXVII научная конференция

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



**г. Евпатория, Крым
2 июля – 9 июля 2023 года**

УДК 303.732.4
ББК 30

С40

Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов.
Сборник. М.: ООО Буки Веди, 2023. – 156 с.

ISBN 978-5-4465-3872-0



©Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
АНО ДПО «Космос – образование»
2023 год

Программный комитет

- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| Хайлов М.Н.
(Председатель) | – | Заместитель генерального директора по космическим комплексам и системам Госкорпорации «Роскосмос» |
| Бычков И.В. | – | Директор института динамики систем и теории управления СО РАН |
| Васильев С.Н. | – | Главный научный сотрудник ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН |
| Карутин С.Н. | – | Генеральный директор АО «Роскартография»
Генеральный конструктор системы ГЛОНАСС |
| Косенко В.Е. | – | Советник генерального директора АО «ИСС»
им. академика М.Ф. Решетнева» |
| Малышев В.В. | – | Заведующий кафедрой «Системный анализ и управление» МАИ |
| Дорофеев В.Ю. | – | Генеральный директор – АО «СПМБМ «Малахит» |
| Пичхадзе К.М. | – | Профессор МАИ |
| Равикович Ю.А. | - | Проректор по научной работе, МАИ |
| Селин В.А. | - | Директор проектов по созданию систем ДЗЗ – заместитель генерального конструктора АО «Российские космические системы» |

Организационный комитет

Малышев В.В. (Председатель) – МАИ
Замковой А.А. (Заместитель председателя) – МАИ
Старков А.В. (Ученый секретарь) – МАИ
Владимирова Г.А. – МАИ
Воронцов В.А. – МАИ
Емельянов А.А. – АО «Российские космические системы»
Сахаров В.И. – МАИ
Терентьев В.В. – МАИ

Организаторы и спонсоры конференции

- Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)
- Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Космос-Образование»
- АО «Российские космические системы»
- АО «НПО Лавочкина»
- АО «ЦНИИмаш»
- АО «Информационные спутниковые системы»
им. академика М.Ф. Решетнева»

СОДЕРЖАНИЕ

Программный комитет	3
Организационный комитет.....	4
Организаторы и спонсоры конференции.....	4
1 Пленарные доклады	11
1.1. Малышев В.В. Вступительное слово. Открытие XXVII конференции «Системный анализ, управление и навигация».....	13
1.2. Матюшин М.М., Кутоманов А.Ю., Кустодов А.Ю. Вопросы организации баллистико-навигационного обеспечения управления полетами многоспутниковых космических систем ДЗЗ	13
1.3. Борисов А.В., Ерешко М.В., Емельянов А.А., Селин В.А. Возможности комплексного мониторинга Северного Ледовитого океана орбитальной группировки ДЗЗ в части оценки показателей производительности космической системы	15
1.4. Довгалюк Е.И., Макаров Н.Ю. О совершенствовании программ реализации космических проектов при изменении приоритетов развития космической деятельности.....	18
1.5. Ковков Д.В. О рисках реализации программ цифровой экономики в ракетно-космической отрасли.....	20
1.6. Ерохин Г.А., Круглов А.В., Бетанов В.В. К вопросу разработки систем искусственного интеллекта для навигационно-баллистического обеспечения управления КА.....	23
1.7. Ильин А.И. Принципы формирования новой отрасли Российской Федерации - «Беспилотная авиация» (научное обоснование)	25
1.8. Хартов В.В., Ризванов А.А., Пустовалов Е.В., Сизов А.А., Остапюк А.И. Аспекты серийного производства малых космических аппаратов, планируемых к созданию на базе перспективной масштабируемой унифицированной космической платформы	27
2 Информационные спутниковые системы.....	29
2.1. Болкунов А.И., Малышев В.В. Технологическая эффективность навигационных систем и эффективность	

выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	31
2.2. Адонин А.С., Евграфов А.Ю. Электромагнитное моделирование монолитной СВЧ интегральной схемы фазовращателя X диапазона на AlGaIn/GaN гетероструктурах	32
2.3. Серко С.Г., Микрюков А.Н., Черкасова М.А., Серафимов В.П. Оценка помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителей ГНСС к воздействию имитационной помехи	33
2.4. Васильев Р.М., Земцова Е.В., Сидякин И.В. Оценка дополнительной погрешности формирования псевдодальностей до НКА ГНСС при изменении температуры окружающего воздуха	36
2.5. Шупен К.Г. Релятивистские поправки к частоте и уходу космических часов ГНСС	40
2.6. Сальцберг А.В. Учет влияния космической среды при прогнозировании ухода бортовых шкал времени ГНСС....	42
2.7. Шабанов В.Е., Челышов С.Ю. Приемные модули наземных радионавигационных систем.....	43
2.8. Никитин А.В., Примаков Д.А., Челышов С.Ю. Комплексная навигационная аппаратура для построения контрольно-корректирующих станций	44
2.9. Никитин А.В., Примаков Д.А., Челышов С.Ю. Основные характеристики навигационных комплексов геоинформационных систем.....	46
2.10. Поляков А.А., Защиринский С.А. Метод выбора проектных параметров гиперскоростных пенетраторов для исследования небесных тел	47
2.11. Терентьев М.Н. Применение беспроводных сенсорных сетей в космических системах	49
2.12. Жорняк А.Г., Морозова Т.А. Специфика разработки визуальных пользовательских интерфейсов в программном обеспечении на языке программирования Python в задачах научных вычислений, анализа данных и машинного обучения.....	51
2.13. Жорняк А.Г., Морозова Т.А. Работа с базами данных в программном обеспечении на языке программирования Python в задачах анализа данных и машинного обучения	53

3 Анализ и синтез систем.....	55
3.1. Пиявский С.А. ⁽¹⁾ , Малышев В.В. ⁽²⁾ Метод уверенных суждений при принятии многокритериальных решений	57
3.2. Пиявский С.А. ⁽¹⁾ , Малышев В.В. ⁽²⁾ Система формирования навыков творческого мышления при подготовке инженерных кадров	58
3.3. Абубекеров М.К., Тучин М.С., Стекольников О.Ю., Потанин С.А., Захаров А.И., Прохоров М.Е., Гостев Н.Ю. Малогабаритный звездный датчик АЗДК-2.....	59
3.4. Дроботухин В.К., Васильев Е.В. Телеуправляемый подводный необитаемый аппарат с интегрированной системой управления с элементами искусственного интеллекта.....	60
3.5. Курносов А.А., Рудко А.А. Совместимость сложных технических систем – системный анализ таксономий	62
3.6. Петров Д.Ю. Анализ проблем цифровизации непрерывных производств.....	63
3.7. Потапова Д.Ю., Феоктистова О.Г. Методы прогноза динамики изменения и построения прогностической оценки основных показателей деятельности авиакомпании	65
3.8. Бобронников В.Т., Дьячук А.К. Система поддержки принятия решений для формирования ветродизельной системы энергоснабжения автономного потребителя энергии по критерию «затраты-эффективность»	69
3.9. Виноградов С.О. Использование нейросетей и машинного обучения в радиооборудовании воздушных судов	72
3.10. Воронцов В.А., Макаров Н.Ю. К вопросу о концепции баланса: "Рациональный космос"	74
3.11. Воронцов В.А., Яценко М.Ю., Рыжков В.В. Анализ факторов, влияющих на качество фото- и видеосъемки на Венере с помощью мультироторного летательного аппарата.....	77
3.12. Малышев А.В. ⁽¹⁾ , Семенов А.А. ⁽¹⁾ , Тепцов В.А. ⁽²⁾ Некоторые аспекты проектирования космических средств инспекции	78
3.13. Егошин С.Ф. Оценка эффективности новой авиационной техники в авиатранспортной системе местных воздушных линий России.....	80
3.14. Кравчик Т.Н., Деткин А.В. Методика параметризации математической CAD модели	83

3.15.	Кудрявцев С.В., Розовенко В.М. К вопросу о методическом обеспечении испытаний космической техники	83
3.16.	Кудрявцев С.В., Розовенко В.М. Оценка технического уровня изделий РКТ на основе теории нечетких множеств	84
3.17.	Куимов А.В. Постановка задачи параметрического синтеза адаптивной системы информационно - телеметрического обеспечения запусков перспективных ракет космического назначения	85
3.18.	Буряк Ю.И., Петров А.В. Применение методов имитационного моделирования в задачах синтеза многоуровневой системы материально-технического обеспечения эксплуатации авиационной техники.....	87
3.19.	Буряк Ю.И., Петров А.В., Сидорчук С.В. Методы и программные средства поддержки принятия решений в процессах технического обслуживания авиационной техники.....	90
3.20.	Кудрявцев М.С. Организационно-экономический механизм отбора смежников промышленной кооперации конкурентными способами	93
3.21.	Рассказова В.А. Модели параллельной обработки данных в задачах планирования потокового производства и цеховой логистики.....	95
3.22.	Тришин А.А. Использование различных диспетчерских клиентов (пультов), как способ популяризации авиационной отрасли в России.....	97
4	Баллистика, динамика полета и управление.....	99
4.1.	Челноков Ю.Н., Молоденков А.В., Логинов М.Ю. Аналитическое квазиоптимальное бикватернионное решение задачи программного управления пространственным движением космического аппарата.	101
4.2.	Селин А.И., Туркин И.К. Последовательность формирования облика беспилотного летательного аппарата работающего в составе группы при выполнении операций	104
4.3.	Юн Сон Ук ⁽¹⁾ , Петухов В.Г. ⁽²⁾ Сквозная оптимизация межпланетных траекторий космических аппаратов с конечной тягой.....	107
4.4.	Александров А.А. ^(1,2) , Русальчук А.А. ⁽¹⁾ , Морозов В.В. ⁽¹⁾ Разработка бортовых алгоритмов для повышения	

помехоустойчивости ИСНС различного уровня интегрирования.....	108
4.5. Быков Н.В., Федулов В.А. Имитационная модель системы обнаружения, локализации и нейтрализации девиантных летательных беспилотных транспортных средств в условиях умного города.....	110
4.6. Воронцов В.А., Хмель Д.С. Управление высотой всплытия аэростата при нагреве оболочки днем.....	112
4.7. Воронцов В.А., Любезный Б.В. Проектные решения для атмосферных планетных зондов.....	115
4.8. Воронцов В.А., Киспе Мендоза М.В. Анализ возмущающих воздействий при вводе в действие аэростата в атмосфере Венеры.....	117
4.9. Хмель Д. С. Траекторные параметры при вводе с спускаемого аппарата аэростата при торможении оболочкой	119
4.10. Калашников А.И., Моисеев Д.В. О расчете траектории наискорейшего перелета легкого беспилотника самолетного типа между протяженными объектами с учетом действия ветра.....	120
4.11. Поляков А.А., Защиринский С.А. разработка методики отработки динамики посадки космического аппарата в земных условиях на планету Марс.....	122
4.12. Ефремов А.В., Тяглик М.С., Ефремов Е.В., Щербаков А.И. Интеграция перспективных средств автоматизации ЛА для обеспечения их безопасного и точного пилотирувания	124
4.13. Гордиенко Е.С., Литвинчук Э.А., Розин П.Е., Симонов А.В. Цифровой моделирующий комплекс для отработки бортового программного обеспечения системы ориентации и стабилизации КА дистанционного зондирования Луны.....	127
4.14. Гордиенко Е.С., Литвинчук Э.А., Розин П.Е., Симонов А.В. Особенности проектирования безгироскопных систем ориентации и стабилизации КА ДЗЗ	127
4.15. Шеремет А.А., Рыжков В.В. Развертывание десантного модуля с роторной системой в атмосфере Венеры	128
4.16. Малышев А.В., Тепцов В.А. Построение оптимальных программ сближения космических аппаратов в условиях наличия ошибок внешнетраекторных измерений.....	132

4.17.	Аунг Мьо Тант, Константинов М.С. Низкоэнергетические перелеты к Луне через точек либрации в системе Земля-Луна.....	133
4.18.	Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Навигация геостационарных КА с использованием спутниковых навигационных систем и астроизмерений.....	136
4.19.	Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Безоператорная полиномиальная аппроксимация функций многомерного аргумента	138
5	Системы дистанционного зондирования Земли	139
5.1.	Ткаченко И.С. База данных обеспечивающих бортовых систем и полезных нагрузок малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли как средство информационной поддержки процесса проектирования многоспутниковых орбитальных группировок	141
5.2.	Морозов А.А., Старков А.В. Анализ подходов к решению задачи распределения сверхбольших объемов информации в перспективных сетевых ОГ КА ДЗЗ	143
5.3.	Некрасов В.В. Проект лекций по специальности 2.3.1 по направлению космические аппараты дистанционного зондирования Земли.....	144
5.4.	Калашников А.И., Моисеев Д.В. Планирование наискорейшего облета группы протяженных объектов легким беспилотником самолетного типа в условиях действия ветра.....	146
5.5.	Василевский В.В. Спектральный метод обработки и оценивания видеоинформации многозональных изображений аэрокосмического мониторинга	148
5.6.	Смолянинов Ю.А., Старков А.В. Аспекты планирования детальной космосъемки крупных регионов.....	152
	Авторский указатель.....	155

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,
УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ**

**1 Пленарные
доклады**



Для заметок

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on its right side, suggesting it's resting on a surface.

1.1. Малышев В.В.

**Вступительное слово. Открытие XXVII конференции
«Системный анализ, управление и навигация»**

(МАИ, г. Москва)

1.2. Матюшин М.М., Кутоманов А.Ю., Кустодов А.Ю.

**Вопросы организации баллистико-навигационного
обеспечения управления полетами многоспутниковых
космических систем ДЗЗ**

(АО «ЦНИИмаш», г. Королев)

В последние десятилетия существенно увеличились темпы роста числа функционирующих космических аппаратов (КА) на орбитах искусственного спутника Земли. К настоящему времени удалось существенно сократить стоимость и время создания КА и появилась возможность использовать околоземное космическое пространство как уникальный ресурс, с помощью которого можно предоставлять различные услуги, такие как навигация, связь, дистанционное зондирование Земли, широкому кругу лиц. Для предоставления таких услуг активно реализуется целый ряд проектов по созданию многоспутниковых космических систем, уже состоящих из несколько тысяч КА с перспективой расширения до десятков и даже сотен тысяч КА.

Практическое использование многоспутниковых орбитальных группировок (Planet Labs, Starlink) уже доказало свою эффективность. Следовательно, окончательная реализация существующих и появление новых проектов многоспутниковых космических систем является только делом времени.

С учетом ограниченного состава наземных средств управления, временных ограничений на подготовку и реализацию процессов управления, финансовых ограничений на масштабирование наземной инфраструктуры управления полетами, а также необходимостью безусловного выполнения целевых задач космической системы с учетом выполнения требований по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства, особую актуальность в

настоящее время приобретают проблемы создания новых подходов к обеспечению управления многоспутниковыми орбитальными группировками из единого центра.

Одним из основных видов обеспечения управления полетами является баллистико-навигационное обеспечение, которое включает в себя решение всех основных задач, связанных с динамикой движения КА в пространстве, а также вопросы задействования наземных и спутниковых средств управления полетами. Таким образом, успешное решение проблемы организации решения всего спектра задач БНО управления полетами многоспутниковыми космическими системами из одного ЦУП создаст все необходимые предпосылки к реализации новых подходов, позволяющих осуществлять управление космическими полетами многоспутниковыми космическими системами ограниченными ресурсами. С учетом относительно независимости баллистико-навигационного обеспечения управления космическими полетами от других видов обеспечения (командно-программного, информационно-телеметрического и др.) целесообразно рассмотреть проблему БНО управления многоспутниковыми космическими системами, как самостоятельную.

В докладе рассматриваются основные проблемные вопросы организации БНО управления многоспутниковыми космическими системами, такие как: отсутствие единых подходов к созданию специального математического обеспечения БНО управления различными КА, функционирующими на различных орбитах, Необходимость обеспечения проведения большого количества маневров, как для поддержания орбитальной структуры космической системы, так и для уклонения от космического мусора, связанная с существенным увеличением числа КА, функционирующих на ограниченном пространстве ОКП, отсутствие автоматизированных систем планирования процессов БНО обеспечения управления полетами разнородными КА и космическими системами и др.

**1.3. Борисов А.В., Ерешко М.В., Емельянов А.А., Селин В.А.
Возможности комплексного мониторинга Северного
Ледовитого океана орбитальной группировки ДЗЗ в
части оценки показателей производительности
космической системы**

(АО «Российские космические системы», г. Москва)

В целях реализации экономических проектов развития Арктической зоны Российской Федерации необходимы модернизация и расширение инфраструктуры объектов в Северном Ледовитом океане (СЛО) и его прибрежной зоне [1]. Тренд увеличения объемов грузооборота предполагает внедрение системы мониторинга и прогнозирования развития ледовых условий в акватории СЛО, в том числе в заливах и устьях крупнейших сибирских рек.

В силу большой протяженности СЛО и особенностей изменчивости природно-метеорологических условий актуальна задача обеспечения глобального покрытия акватории СЛО данными ДЗЗ. Исходные оценки потребностей основных пользователей в оперативной информации о состоянии ледяного покрова акватории СЛО [2] показали необходимость в данных радиолокационного наблюдения (РЛН).

Мониторинг акватории СЛО в зависимости от целевых задач может производиться космическими средствами оптико-электронного наблюдения (видимый и инфракрасный диапазоны) и РЛН.

Следовательно, необходимы оценки следующих показателей производительности:

- количество наблюдений заданной области акватории СЛО и их перерывы;
- время и кратность сплошного покрытия данными съемки акватории СЛО;
- время ожидания от окончания съемки до процедуры сброса данных с космического аппарата на пункт приема информации наземной инфраструктуры ДЗЗ после съемки (циклограмма).

В обеспечение получения оценок показателей производительности космической системы ДЗЗ проведено

моделирование с применением методического задела [3,4] и использованием новых подходов к расчету этих показателей.

Литература:

1. Национальный атлас Арктики. – М.: Роскартография, 2017. – 496 с.

2. Мелентьев В.В., Мелентьев А.В., Черноок В.И., Пашенко Б.Е., Петтерссон Л.Х. Материалы к атласу РСА сигнатур ледяного покрова арктических морей. Часть 1. РСА сигналы опасных ледовых явлений и их использование для оптимизации ледового плавания в морях российской Арктики и эстуариях Великих сибирских рек // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2019. № 594. С. 24-62.

3. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1965. – 540 с.

4. Баринов К.Н., Бурдаев М.Н., Мамон П.А. Динамика и принципы построения орбитальных систем космических аппаратов. М., Машиностроение, 1975. – 232 с.

Possibilities of complex monitoring of the Arctic Ocean of the remote sensing orbital constellation in terms of assessing the performance indicators of the space system

Borisov A.V., Ereshko M.V., Emelyanov A.A., Selin V.A. (JSC Russian Space Systems, Moscow, Russia)

In order to implement economic projects for the development of the Arctic zone of the Russian Federation, it is necessary to modernize and expand the infrastructure of facilities in the Arctic Ocean (AO) and its littoral zone [1]. The trend to increase the volume of cargo turnover involves the introduction of a system for monitoring and forecasting the evolution of ice conditions in the Arctic Ocean, including in the bays and estuaries of the largest Siberian rivers.

Due to the large extent of the Arctic Ocean and the peculiarities of the variability of natural and meteorological conditions, the problem of providing global coverage of the Arctic Ocean with remote sensing data is relevant.

The initial assessments of the needs of the main users in operational information on the state of the ice cover in the Arctic Ocean [2] showed the need for radar observation data.

The monitoring of the Arctic Ocean, depending on the target tasks, can be carried out by space means of optical-electronic observation (visible and infrared ranges) and radar. Therefore, assessments of the following performance indicators are needed:

- the number of observations of a given area of the Arctic Ocean and their breaks;
- time and frequency of continuous coverage with survey data of the Arctic Ocean;
- waiting time from the end of the survey to the procedure for resetting data from the spacecraft to the point of receiving information on the ground-based remote sensing infrastructure after the survey (cyclogram).

In order to obtain estimates of the performance indicators of the remote sensing space system, modeling was carried out using the methodological backlog [3,4] and using new approaches to calculating these indicators.

Bibliography:

1. National Atlas of the Arctic. – M.: Roskartografiya, 2017. – 496 p.
2. V. V. Melent'ev, A. V. Melent'ev, V. I. Chernook, B. E. Pashchenko, and L. Kh. Materials for the SAR Atlas of Ice Cover Signatures in the Arctic Seas. Part 1. SAR signals of dangerous ice phenomena and their use for optimizing ice navigation in the seas of the Russian Arctic and estuaries of the Great Siberian rivers // Proceedings of the main geophysical observatory im. A.I. Voeikov. 2019. No. 594. S. 24-62.
3. Elyasberg P.E. Introduction to the theory of flight of artificial satellites of the Earth. M.: Nauka, 1965. - 540 p.
4. Barinov K.N., Burdaev M.N., Mamon P.A. Dynamics and principles of construction of spacecraft orbital systems. M., Mashinostroenie, 1975. - 232 p.

1.4. Довгальук Е.И., Макаров Н.Ю.
О совершенствовании программ реализации
космических проектов при изменении приоритетов
развития космической деятельности
(Госкорпорация "Роскосмос", г. Москва)

Анализ мировой практики реализации космических проектов и применения результатов космической деятельности в экономике и государственном управлении однозначно указывает на связь космической деятельности со способностью страны результативно отстаивать свои национальные интересы на мировой арене, обеспечивать эффективное решение задач в области социально-экономического развития.

В настоящее время космической деятельностью занимаются все ведущие страны мира и многие развивающиеся государства. Свыше 130 стран пользуются результатами космической деятельности, число стран, имеющих собственные космические аппараты и орбитальные группировки, превысило 60-й числовой порог. При этом около 30 активно планируют свою космическую деятельность, имеют государственные космические программы и реализуют их в конкретных проектах.

С учетом указанного, стратегическое планирование и управление космической деятельностью в современных условиях является важнейшим фактором обеспечения международной конкурентоспособности государства.

Роль и место системы стратегического планирования в структуре целей, задач и функций национального органа управления космической деятельностью обусловлены, прежде всего, стратегическим характером влияния космической деятельности на потенциал страны в социальной, технологической и экономической сферах.

Механизмы стратегического планирования космической деятельности на этапах целеполагания и прогнозирования отработаны и действуют эффективно, обеспечивая своевременное формирование и уточнение направлений государственной политики в соответствии со складывающейся обстановкой. Проблемы в значительной степени проявляются на этапе

планирования и программирования в части реализации утвержденных программ.

В связи с этим в постановочном плане актуализируется вопрос совершенствования подхода к организации стратегического планирования и программирования, решение которого предполагает трансформацию нормативной базы уточнения государственных программ в части выработки дифференцированных правил (при упрощении функционально-судебной части), обеспечивающих разработку и реализацию документов развития космической деятельности.

On improving the programs for the implementation of space projects when changing the priorities of the development of space activities

Dovgalyuk E.I., Makarov N.Y. (ROSCOSMOS, Moscow, Russia)

An analysis of the world practice of implementing space projects indicates the connection between space activities and the country's ability to effectively defend its national interests. Also, space activities allow for the effective solution of problems in the field of socio-economic development.

At present, all the leading countries of the world and many developing states are engaged in space activities. Over 130 countries benefit from space activities. More than 60 countries have their own spacecraft and orbital constellations. At the same time, about 30 countries are actively planning their space activities and have state space programs.

Thus, strategic planning and management of space activities in modern conditions is the most important factor in ensuring the international competitiveness of the state.

The role and place of the strategic planning system in the structure of the goals, tasks and functions of the national space management authority are determined by the strategic nature of the impact of space activities on the country's potential in social, technological and economic spheres.

The mechanisms for strategic planning of space activities at the stages of goal-setting and forecasting have been worked out and operate effectively. This ensures the timely formation and refinement of the

directions of state policy in accordance with the current situation. Problems are largely manifested at the stage of implementation of the approved programs.

In this regard, the issue of improving the regulatory legal framework for clarifying state programs in terms of developing other approaches for the development and implementation of documents for the development of space activities is being updated.

1.5. Ковков Д.В.

О рисках реализации программ цифровой экономики в ракетно-космической отрасли

(АО «Информационная внедренческая компания», г. Москва)

Обеспечение технологической независимости и безопасности цифровой инфраструктуры - важнейшее законодательное требование.

Для его достижения необходимо реализовать новые решения в области ИТ с интеграцией в существующую инфраструктуру, обеспечив сопровождение, технологическую поддержку и безопасность в течение жизненного цикла (ЖЦ). Однако существующая инфраструктура в течение длительного времени складывалась на основе зарубежных технологий.

Необходимым условием импортонезависимости является разработка и внедрение, по крайней мере, двух базовых технологий: проектирования и производства операционных систем (ОС) и процессоров.

Полный технологический цикл создания, внедрения, модернизации и поддержки жизненного цикла ОС реализуется в репозитории, который включает хранилище программных пакетов, среду разработки, модернизации программных пакетов и операционных систем. Управление осуществляется собственниками и техническим советом директоров.

В мировой практике накоплен опыт образования репозиторий, ключевая роль в развитии которых принадлежит сообществам свободного программного обеспечения (ССПО), приверженным определенным базовым технологиям, включающим архитектуру, разработку и поддержание ЖЦ ОС.

По мере насыщения репозитория пакетами программ управляющей структурой принимается решение стабилизировать

созданную платформу. На каждом этапе установившиеся (стабилизированные) в репозиториях платформы представляют собой открытый ресурс, доступный различным пользователям и являющийся базой для создания многочисленных дистрибутивов операционных систем.

Ряд широко используемых в РФ ОС, позиционируемых как отечественные, имеют в своей основе базу одного из зарубежных репозитория исходных пакетов программ: Red Hat, SuSe и Debian. Такие ОС получают в результате использования стабилизированных в зарубежных репозиториях платформ путем внесения в них авторских изменений, диктуемых требованиями сертификационных органов.

По мере накопления изменений и согласно избранной стратегии в репозитории осуществляется стабилизация новой платформы, на базе которой отечественные разработчики вынуждены производить каждый раз новую «российскую» ОС. Проблемы совместимости, дополнительные трудозатраты влекут за собой существенные проектные риски.

Как показывает зарубежный и отечественный опыт разработка и использование ОС, привязанных к иностранным репозиториям, не позволяет разрабатывать конкурентоспособные образцы продукции и обеспечить импортонезависимость цифровых решений.

Еще одной проблемой является защита информации, поскольку существование репозитория, как открытой системы, позволяет внедрять в них вредоносное программное обеспечение.

Кроме того, существует риск прямого запрета на использование на территории России разработанных на базе «целевых платформ» операционных систем, что подтверждает пример с ОС Fedora Linux.

Поэтому сложившаяся практика формирования информационных структур на базе ОС, которые правомерно отнести к категории «псевдоотечественных», является прямой угрозой надежности функционирования высокотехнологичных систем и производственных комплексов, включая космическую отрасль.

Преодолению сложившейся ситуации и обеспечению импортонезависимости способствует наличие в стране собственных технологий проектирования процессоров. Однако

потребительские качества процессоров проявляются через операционную систему, от функциональности которой зависит эффективность отечественных информационных технологий и их рыночная ценность. Необходимым условием обеспечения устойчивости и безопасности цифровой экономики является отказ от заемных технологий и решение задач импортозамещения и импортонезависимости во всей сфере информационных технологий, в которой приоритет отдается операционным системам.

В 2000 году сформировалось ССПО, объединившееся вокруг российской компании «Базальт СПО», которая является собственником, вероятно, единственного в стране репозитория СИЗИФ с современной инфраструктурой разработки, модернизации, поддержания ЖЦ ОС. В репозитории сосредоточено свыше 23000 пакетов программ, что вполне соизмеримо с крупнейшими репозиториями. Вся техническая политика, реализуемая СИЗИФ, строится под контролем отечественных компаний и программистов.

На базе данного депозитария выпускаются операционные системы «Альт», которые более двадцати лет эксплуатируются в федеральных органах власти и полноценно работают на отечественных процессорах.

Таким образом, существует возможность отказа от использования ОС на базе зарубежных репозиториев. Представляется целесообразным проведение инвентаризации применяемых в отрасли ОС, и переход на операционные системы на базе отечественных репозиториев.

Литература:

1. Безопасность в ракетно-космической отрасли при внедрении программы "Цифровая экономика Российской Федерации" / В.В. Панов, Д.В. Ковков // Новости космонавтики. – 2017. – № 12. – С. 48-49.

2. «Базальт СПО»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.basealt.ru>. (Дата обращения 28.04.2023).

**1.6. Ерохин Г.А., Круглов А.В., Бетанов В.В.
К вопросу разработки систем искусственного
интеллекта для навигационно-баллистического
обеспечения управления КА**

(АО «Российские космические системы», г. Москва)

Реализация необходимых жестких требований к навигационно-баллистическому обеспечению (НБО) управления космическими аппаратами (КА) (универсальности, точности, оперативности, абсолютной достоверности, надежности и др.) требует высокого уровня автоматизации данного контура управления. Указанное обстоятельство предполагает применение высокой степени интеллектуальной составляющей, в частности, комбинированных расчетно-логических и экспертных систем, ориентированных на вычислительные алгоритмы с осуществлением хранения уникальных знаний и данных в области НБО космической техники.

Нештатные ситуации, возникающие в практике управления сложными системами и комплексами, в том числе, космическими аппаратами, имеющими место в ходе выполнения летных испытаний и технологических циклов (ТЦ) НБО при штатной эксплуатации, предполагают применение гибридных технологий использования комбинации математических и эвристических методов.

Примерами подобных штатных ситуаций могут служить случаи ограниченного объема выборки измерений текущих навигационных параметров (ИТНП) при оперативном определении параметров движения КА, обусловленный срывом штатной схемы реализации циклограммы проведения радиоконтроля орбиты (РКО); ограниченного объема выборки ИТНП при реализации штатной схемы РКО, обусловленный наличием непригодных для определения параметров движения сеансов ИТНП; несоответствия расчетного пространственно-временного перемещения центра масс КА реальному; изменения внешних условий и требований на решение рассматриваемых задач и другие.

Указанные обстоятельства требуют тщательного анализа возможного успешного решения как отдельных задач, так и общих

проблем, возникающих в ходе выполнения технологических циклов НБО. Моделирование данных для подобных исследований возможно осуществлять путем априорного (заранее до окончательного формирования технологического цикла НБО) матрично-тензорного анализа и в процессе оперативного выполнения работ.

В докладе сформулированы условия решения задач с использованием гибридной технологии на основе элементов искусственного интеллекта, а также приводятся рекомендации по применению интеллектуальных систем при решении так называемых обобщенных некорректных задач первого и второго рода с введенными модификациями с учетом представления решения задач в объект-системе «задача-инструмент ее решения» в практике НБО.

On the issue of developing artificial intelligence systems for navigation and ballistic support for spacecraft control

Erokhin G.A., Kruglov A.V., Betanov V.V. (JSC Russian Space Systems, Moscow, Russia)

The implementation of the necessary stringent requirements for navigation and ballistic support (NBS) for spacecraft (SC) control (universality, accuracy, efficiency, absolute reliability, reliability, etc.) requires a high level of automation of this control loop. This circumstance implies the use of a high degree of intellectual component, in particular, combined calculation-logical and expert systems focused on computational algorithms with the storage of unique knowledge and data in the field of NBS of space technology.

Emergency situations that arise in the practice of managing complex systems and complexes, including spacecraft, occurring during flight tests and technological cycles (TC) of NBS during normal operation, require the use of hybrid technologies using a combination of mathematical and heuristic methods. Examples of such emergency situations can be cases of a limited sample size of measurements of current navigation parameters (ITNP) during the operational determination of the parameters of the motion of the spacecraft, due to the disruption of the standard scheme for implementing the cyclogram for conducting radio monitoring of the orbit (RCO); a limited sample

size of ITNP in the implementation of the regular RSC scheme, due to the presence of unsuitable for determining the motion parameters of the sessions of ITNP; inconsistencies between the calculated spatio-temporal displacement of the center of mass of the spacecraft and the real one; changes in external conditions and requirements for solving the problems under consideration, and others.

These circumstances require a thorough analysis of the possible successful solution of both individual tasks and general problems that arise during the implementation of technological cycles of NBS. Data modeling for such studies can be carried out by a priori (before the final formation of the NBS technological cycle) matrix-tensor analysis and in the process of operational execution of work.

The report formulates the conditions for solving problems using hybrid technology based on elements of artificial intelligence, and also provides recommendations on the use of intelligent systems in solving the so-called generalized ill-posed problems of the first and second kind with the introduced modifications, taking into account the representation of the solution of problems in the object-system "task-a tool for its solution" in the practice of the NBS.

1.7. Ильин А.И.

Принципы формирования новой отрасли Российской Федерации - «Беспилотная авиация» (научное обоснование)

(Инновационный центр «Сколково», г. Москва)

Бурное развитие беспилотного транспорта вселило надежды на появление транспорта будущего, особые надежды связывали с беспилотным воздушным транспортом, как наиболее эффективным транспортом будущего.

Основное внимание было сконцентрировано на создании беспилотников, а принципы контроля и управления предложено оставить, как для пилотируемой авиации, так как для создания новой системы нужны либо новые технологии, либо новые принципы, а у мирового сообщества не оказалось ни того, ни другого.

Разница в реализации заключается в том, что для разработки технологий нужны большие финансовые ресурсы и развитой

технологической базы, а для формирования новых принципов нужны ученые способные сформулировать идею, реализация которой решит проблему. Понятно, что и для этого нужны финансовые ресурсы, но на порядки меньшие, а главное — это существенно меньшие сроки практической реализации. Но если грамотно объединить новые технологии с новыми принципами, то эффект будет ошеломляющим. Но здесь многое будет зависеть от эффективности управления реализацией проекта интеграции беспилотников в общее воздушное пространство.

Мировое авиационное сообщество в 2011 году приняло решение (циркуляр ИКАО 327), которым было определено, что интегрировать в общее воздушное пространство можно только дистанционно пилотируемые авиационные системы, а все другие беспилотники могут летать лишь в сегрегированном пространстве, а это более 90% беспилотников. Поэтому разработчики сконцентрировали все свои усилия на создании совместно беспилотников. Для полетов в сегрегированном пространстве были разработаны соответствующие принципы управления беспилотников, которые названы UTM (управление трафиками беспилотников).

Сейчас стало очевидным, что принятое ИКАО решение является ошибочным, поскольку системную проблему начали решать локальными методами. Это решение противоречит известным научным принципам – «системные проблемы нужно решать системными методами, а локальные проблемы локальными методами». Нарушение этих правил ведет к неудачам, что, собственно, и имеем. Прошло более 10 лет, количество их растет, но практического применения, которое ожидали, не получилось, так как отсутствует система контроля и управления над безопасными групповыми полетами беспилотников.

Мы предлагаем разработку такой системы, которые основаны на объединительных принципах системного анализа с привлечением следующих дополнительных знаний:

- логистики;
- искусственного интеллекта;
- нейронных сетей;

- ИЛП-технологий;
- управление рисками.

Используя эти принципы, мы предложили новую цифровую систему организации воздушного движения, которая реализуется современными цифровыми технологиями, обеспечивая безопасные групповые полеты беспилотной авиации в общем воздушном пространстве. Система включает цифровую автоматизированную систему контроля и управления беспилотниками и наземно-воздушную инфраструктуру.

На совещании у Президента Российской Федерации

В.В. Путина по стратегии развития беспилотной авиации наше предложение было комплексным решением проблем с которыми столкнулось мировое авиационное общество при реализации эффективного беспилотного воздушного транспорта.

1.8. Хартов В.В., Ризванов А.А., Пустовалов Е.В., Сизов А.А., Остапюк А.И.

Аспекты серийного производства малых космических аппаратов, планируемых к созданию на базе перспективной масштабируемой унифицированной космической платформы
(АО «ЦНИИмаш», г. Королев)

Одним из трендов развития космической отрасли является использование малых космических аппаратов (МКА). Техническое и технологическое совершенствование, миниатюризация способствуют тому, что МКА становятся способны выполнять задачи, ранее доступные только космическим аппаратам массой от нескольких тонн.

Основными направлениями использования МКА являются:

- обзорное оптико-электронное наблюдение;
- высокодетальное оптико-электронное наблюдение;
- радиолокационное наблюдение;
- оперативная передача данных.

Применение существующего в России подхода при создании КА применительно к МКА многоспутниковых орбитальных группировок не позволяет обеспечить приемлемую рекуррентную стоимость, позволяющую им быть коммерчески эффективными.

Одним из возможных путей сокращения времени разработки, снижения стоимости и сроков изготовления и запуска МКА является их проектирование с использованием масштабируемой унифицированной космической платформы (МУКП), обладающей высокой степенью универсальности, в состав которой входит бортовая аппаратура служебных систем, обладающая лётной квалификацией или высокой степенью прохождения наземной экспериментальной отработки.

МУКП, обладая гибкой адаптацией, позволят за счёт масштабируемости и унифицированности составных частей предоставить необходимые ресурсы и обеспечить условия функционирования для полезных нагрузок различного назначения.

Применение унифицированной платформы при серийном выпуске позволит создать экономически выгодные орбитальные группировки за счет унификации процессов производства МКА на всех стадиях жизненного цикла.

В докладе обосновано снижение стоимости МКА на базе МУКП по сравнению с традиционными КА. Представлены предложения по аспектам организации серийного производства на территории России.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,
УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ**

**2 Информационные
спутниковые
системы**



Для заметок

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on the right side, suggesting it's resting on a surface.

2.1. Болкунов А.И., Малышев В.В.

Технологическая эффективность навигационных систем и эффективность выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
(АО «ЦНИИмаш», г. Королев, МАИ, г. Москва)

В настоящее время решается широкий ряд прикладных задач, требующих проведения различных оценок эффективности навигационных систем. При этом существующая методология оценки эффективности использует три области проведения оценки – оценку функциональной эффективности, оценку экономической эффективности и оценку эффективности системы нормативно-правового и нормативно-технического регулирования и, в отдельных случаях, их различные комбинации.

Однако, появляются прикладные задачи, для решения которых существующая методология напрямую не применима.

На текущий момент можно выделить две группы таких задач. Примером задачи первой группы является получение научно и методически обоснованного ответа на вопрос, почему, при наличии соответствующих производственных линий, квалифицированного персонала, технологий, финансового обеспечения и др., итоговый результат производства далек от идеального. Условно данную группу можно назвать оценкой «технологической эффективности».

Примером задачи второй группы является получение научно и методически обоснованного ответа на вопрос, почему, при наличии квалифицированных специалистов, опыта, наработок в области, экспериментальной базы, финансового обеспечения и др., итоговый результат выполнения НИОКР (работ, услуг) далек от идеального. Условно данную группу можно назвать оценкой «эффективности НИОКР и работ (услуг)».

В данном докладе обе группы задач рассматриваются как единая группа, имеющая признаки всех трех существующих областей проведения оценки.

В настоящее время проводится работа по оценке имеющихся исходных данных, применимых для решения задач, формируются схемы организационно-технического и логико-информационного взаимодействия участвующих элементов для данных задач,

разрабатывается перечень оцениваемых характеристик и методики их расчета.

Доклад посвящен описанию текущего состояния исследований по данному направлению, включая основные проблемные вопросы и дорожную карту дальнейших работ.

2.2. Адонин А.С., Евграфов А.Ю.

Электромагнитное моделирование монолитной СВЧ интегральной схемы фазовращателя X диапазона на AlGaIn/GaN гетероструктурах

(АО «НПП «Пульсар», г. Москва)

АО «НПП «Пульсар» разработал новую технологическую платформу для создания монолитных СВЧ интегральных схем на AlGaIn/GaN гетероструктурах на базе СВЧ переключателей с использованием емкостных контактов. Эффективность технологии была подтверждена при разработке МИС СВЧ SPST и SPDT переключателей для S, C, X диапазонов частот. Реализация МИС СВЧ фазовращателя X диапазона, электромагнитное моделирование которого рассмотрено в данном сообщении, планируется также по этой технологии. В конструкции фазовращателя использованы направленный ответвитель Ланге и МИС СВЧ переключатели с емкостными контактами. Возможность проектировать для каждого разряда свой СВЧ переключатель, обеспечивающий максимальное согласование СВЧ параметров при минимальных входных потерях является основным преимуществом разработанной технологии. Пятиразрядный фазовращатель для частотного диапазона 8-12 ГГц обеспечивает фазовые сдвиги 11,25°, 22,5°, 45°, 90° и 180° при СКВ фазовой ошибке $\leq 5^\circ$. Входные потери в рабочем диапазоне частот ≤ 2 (дБ), входная мощность не менее 10 Вт в импульсном режиме $T_{imp}=100\text{мкс}$, $S=10$, $t_{\phi}=40\text{нс}$

Electromagnetic modeling of X-band phase shifter monolithic microwave integrated circuit on AlGaIn/GaN heterostructures.

Adonin A.S., Evgrafov A.Yu. (JSC NPP Pulsar, Moscow, Russia)

JSC NPP Pulsar has developed a new technological platform for creating monolithic microwave integrated circuits on AlGaIn/GaN heterostructures using capacitive coupled contacts (C3), the

effectiveness of which was confirmed during the development of MIS microwave SPST and SPDT switches for S, C, X frequency bands. The design of the MIS of the X-band microwave phase shifter, the electromagnetic modeling of which is discussed in this report, is also planned using this technology. The design of the phase shifter uses a directional Lange coupler and MIS microwave switches with C3 contacts. The ability to design for each discharge its own microwave switch that ensures maximum matching of microwave parameters with minimal input losses is the main advantage of the developed technology. A five-digit phase shifter for the frequency range of 8-12 GHz provides phase shifts of 11.25, 22.545 Input losses in the operating frequency range of ≤ 2 (dB), input power of at least 10 Watts in pulse mode T = 100mcs, S = 10, rise time 10ns

**2.3. Серко С.Г., Микрюков А.Н., Черкасова М.А.,
Серафимов В.П.
Оценка помехоустойчивости навигационной
аппаратуры потребителей ГНСС к воздействию
имитационной помехи
(ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, г. Мытищи)**

Представлены результаты количественных показателей помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителей ГНСС к воздействию имитационной помехи

В настоящее время ГНСС получили широкое распространение и применяются в различных сферах. Основным недостатком применения ГНСС является низкая помехоустойчивость НАП, что обусловлено малым уровнем полезного навигационного сигнала (10-16 Вт или минус 160 дБВт), это делает возможным его подавления в большом радиусе даже маломощными помеховыми излучателями. Поэтому при разработке и испытаниях НАП необходимо определять количественные показатели помехоустойчивости.

Под помехоустойчивостью (помехозащищенностью) НАП в широком смысле принято понимать её способность решать навигационную задачу в условиях воздействия внешних помех [1].

При этом наиболее часто для НАП ГНСС применяются активные виды помех, по причине их наибольшей эффективности. Активные помехи делятся на маскирующие и имитирующие помехи.

Принцип действия маскирующих помех основан на создании подавляющего фона полезным радиосигналам. Маскирующие помехи иногда называют энергетическими, так как основной эффект от их воздействия на НАП – энергетическое подавление.

Количественной характеристикой помехоустойчивости НАП при воздействии маскирующих помех рекомендовано принимать граничное (наибольшее) значение отношения мощности помехового радиосигнала к мощности полезного радиосигнала при котором НАП еще может решать целевую задачу (выполнять навигационно-временные определения) с заданными характеристиками. Стандартное значение помехоустойчивости НАП, представляющей собой приемник с одноэлементной антенной и круговой диаграммой направленности в верхней полусфере, при приеме существующих сигналов ГНСС составляет (30...40) дБ [1]. Методы и средства оценки помехоустойчивости НАП на воздействие маскирующих помех широко известны и реализуются в лабораторных условиях с применением генераторов сигналов.

Имитирующие помехи по своей структуре аналогичны полезным радиосигналам, но имеют параметры, дезинформирующие подавляемое средство, нарушая тем самым его нормальное функционирование, в связи с чем их называют еще и дезинформирующими. Имитирующие помехи эффективны при существенно меньшей мощности излучения, чем маскирующие помехи, в чем заключается их основное преимущество.

При этом количественную характеристику помехоустойчивости НАП к воздействию имитирующих помех в настоящее время в требованиях при разработке НАП не задают.

В качестве показателя помехоустойчивости НАП, представляющей собой приемник с одноэлементной антенной и круговой диаграммой направленности в верхней полусфере, к воздействию имитирующих помех авторами предлагается установить аналогичный показатель помехоустойчивости, как и для маскирующих помех. Для оценки данного показателя помехоустойчивости НАП проведен эксперимент с использованием установки измерительной – имитатора сигналов перевозимого К2-100 в режиме имитации траектории движения объекта-носителя по её параметрам, поступающим в реальном времени. В результате проведения эксперимента получены количественные показатели помехоустойчивости НАП к

воздействию имитационных помех значения которых составили (3...5) дБ.

Литература:

1. Перов А.И. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. – М: Радиотехника. 2020.– 1072 с.

Evaluation of the noise immunity of navigation equipment of GNSS consumers to the effects of simulated interference

Serko S.G., Mikryukov A.N., Cherkasova M.A., Serafimov V.P. (FSBI "GNMC" of the Ministry of Defense of Russia)

The results of quantitative indicators of noise immunity of navigation equipment of GNSS consumers to the effects of simulated interference are presented.

Currently, GNSS have become widespread and are used in various fields. The main disadvantage of using GNSS is the low noise immunity of the NAP, which is due to the low level of the useful navigation signal (10-16 W or minus 160 dBW), this makes it possible to suppress it in a large radius even with low-power interference emitters. Therefore, it is necessary to determine quantitative indicators of noise immunity during the development and testing of NAP.

Under noise immunity (noise immunity) NAP in a broad sense, it is customary to understand its ability to solve a navigation problem under the influence of external interference [1].

At the same time, active types of interference are most often used for GNSS NAP, because of their greatest efficiency. Active interference is divided into masking and simulating interference.

The principle of operation of masking interference is based on the creation of an overwhelming background to useful radio signals. Masking interference is sometimes called energy interference, since the main effect of their impact on the NAP is energy suppression.

The quantitative characteristic of the noise immunity of the NAP when exposed to masking interference is recommended to take the boundary (largest) value of the ratio of the power of the interference radio signal to the power of the useful radio signal at which the NAP can still solve the target task (perform navigation-time definitions) with the specified characteristics. The standard value of the noise immunity of the NAP, which is a receiver with a single-element antenna and a circular radiation pattern in the upper hemisphere, when receiving existing GNSS signals is (30...40) dB [1]. Methods and means of

assessing the noise immunity of the NAP to the effects of masking interference are widely known and are implemented in laboratory conditions using signal generators.

Imitating interference is similar in structure to useful radio signals, but has parameters that disinform the suppressed means, thereby disrupting its normal functioning, and therefore they are also called disinforming. Simulating interference is effective at significantly lower radiation power than masking interference, which is their main advantage.

At the same time, the quantitative characteristic of the noise immunity of the NAP to the effects of imitating interference is currently not specified in the requirements for the development of the NAP.

As an indicator of the noise immunity of the NAP, which is a receiver with a single-element antenna and a circular radiation pattern in the upper hemisphere, to the effects of imitating interference, the authors propose to establish a similar indicator of noise immunity as for masking interference. To assess this indicator of noise immunity, an experiment was conducted using a measuring installation – a signal simulator of the transported K2-100 in the mode of simulating the trajectory of the carrier object according to its parameters received in real time. As a result of the experiment, quantitative indicators of the noise immunity of the NAP to the effects of simulated interference were obtained, the values of which were (3...5) dB.

Bibliography:

1. Perov A.I. GLONASS. Modernization and development prospects. – M: Radio engineering. 2020.– 1072 p.

2.4. Васильев Р.М., Земцова Е.В., Сидякин И.В.

Оценка дополнительной погрешности формирования псевдодальностей до НКА ГНСС при изменении температуры окружающего воздуха

(ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, г. Мытищи)

Представлены результаты оценки нестабильности формирования псевдодальностей имитатором сигналов ГНСС при изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих условий эксплуатации.

В настоящее время для оценки систематических составляющих инструментальной погрешности измерения псевдодальностей НАП используется метод, основанный на

применении имитаторов сигналов ГНСС. В соответствии с [1] имитаторы сигналов ГНСС используются в качестве эталонов 2 разряда и являются источником эталонного навигационного поля с нормированными характеристиками. Основной метрологической характеристикой имитаторов сигналов ГНСС, определяющей абсолютную погрешность формирования псевдодальностей до НКА ГНСС, является абсолютная погрешность синхронизации шкалы времени блока имитации (выход сигнала метки времени 1 «с») с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале. Для различных типов имитаторов сигналов данная характеристика варьируется в диапазоне значений от 1,9 до 50 нс, что в абсолютных значениях погрешности формирования псевдодальностей до НКА составляет от 0,6 до 15 м. Основным методом измерения временного интервала между секундной меткой имитатора сигналов ГНСС и соответствующим ему событием в навигационном сигнале на выходе имитатора сигналов является метод с использованием цифрового запоминающего осциллографа [2]. Однако в данной работе применен метод оценки характеристик имитатора сигналов с применением радиотехнических средств, а именно аппаратуры калибровки навигационных сигналов.

Существующие метрологические характеристики имитаторов сигналов ГНСС позволяют метрологически обеспечить подавляющее большинство парка НАП. Но в ряде применений НАП, например, в составе беззапросных измерительных систем, участвующих в контуре управления системой ГНСС ГЛОНАСС, возникает необходимость оценки характеристик НАП в части измерений псевдодальностей с максимально возможной точностью. Для достижения требуемых характеристик имитаторов сигналов ГНСС в таких условиях необходимо учитывать влияние дополнительных видов погрешностей. Одним из самых распространенных видов дополнительной погрешности является погрешность, возникающая за счет изменения температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих условий эксплуатации.

Для оценки неустойчивости формирования псевдодальностей при изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих условий эксплуатации выбран имитатор сигналов ГНСС с наилучшими на сегодняшний день характеристиками по синхронизации шкалы времени блока

имитации с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале (1,9 нс), а именно установка измерительная – имитатор сигналов прецизионный многофункциональный К2-99.

Результаты оценки показали, что значения погрешности синхронизации шкалы времени блока имитации с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале при изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих условий эксплуатации составляют до 550 пс (25 % от нормируемой погрешности на имитатор сигналов К2-99) и в абсолютных значениях псевдодальности достигает до 0,15 м.

Таким образом, при оценке инструментальной погрешности измерений псевдодальностей высокоточной НАП необходимо имитатор сигналов ГНСС размещать в термокамере (либо стабильно поддерживать температуру окружающего воздуха в помещении) для устранения влияния дополнительной погрешности формирования псевдодальностей до НКА ГНСС.

Литература:

1. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. N 2831 «Государственная поверочная схема для координатно-временных средств измерений».

2. Федотов В.Н., Васильев Р.М., Федотов А.А. Стенд калибровки навигационной аппаратуры ГЛОНАСС. – Вестник метролога №4. - 2011. - 15 с.

Estimation of the additional error in the formation of pseudo-distances up to the GNSS NC when the ambient temperature changes

Vasiliev R.M., Zemtsova E.V., Sidyakin I.V. (FSBI "GNMC" of the Ministry of Defense of Russia)

The results of the evaluation of the instability of the formation of pseudo-ranges by a GNSS signal simulator with a change in ambient air temperature in the range of operating conditions are presented.

Currently, a method based on the use of GNSS signal simulators is used to assess the systematic components of the instrumental error of measuring pseudo-distances. In accordance with [1], GNSS signal simulators are used as standards of the 2nd category and are the source of the reference navigation field with normalized characteristics. The

main metrological characteristic of GNSS signal simulators, which determines the absolute error in the formation of pseudo-distances to the GNSS NC, is the absolute error in synchronizing the time scale of the simulation unit (the output of the time stamp signal 1 "s) with the time stamp transmitted in the navigation signal. For various types of signal simulators, this characteristic varies in the range of values from 1.9 to 50 ns, which in absolute values of the error in the formation of pseudo-distances to the NCA is from 0.6 to 15 m. The main method of measuring the time interval between the second mark of the GNSS signal simulator and the corresponding event in the navigation signal at the output of the signal simulator is the method using a digital storage oscilloscope [2]. However, in this work, a method of evaluating the characteristics of a signal simulator with the use of radio equipment, namely, navigation signal calibration equipment, is applied.

The existing metrological characteristics of GNSS signal simulators allow metrologically providing the vast majority of the NAP fleet. But in a number of NAP applications, for example, as part of unsolicited measuring systems involved in the control loop of the GNSS GLONASS system, there is a need to evaluate the characteristics of NAP in terms of pseudo-distance measurements with the highest possible accuracy. In order to achieve the required characteristics of GNSS signal simulators in such conditions, it is necessary to take into account the influence of additional types of errors. One of the most common types of additional error is the error that occurs due to changes in ambient air temperature in the range of operating conditions.

To assess the instability of the formation of pseudo-distances when the ambient temperature changes in the range of operating conditions, a GNSS signal simulator with the best characteristics to date for synchronizing the time scale of the simulation unit with a timestamp transmitted in the navigation signal (1.9 ns) was selected, namely a measuring installation - a precision multifunctional signal simulator K2-99.

The evaluation results showed that the values of the synchronization error of the time scale of the simulation unit with the time stamp transmitted in the navigation signal when the ambient temperature changes in the range of operating conditions are up to 550 ps (25% of the normalized error on the signal simulator K2-99) and in absolute pseudodality values reaches up to 0.15 m.

Thus, when assessing the instrumental error of measuring pseudo-ranges of high-precision NAP, it is necessary to place a GNSS

signal simulator in a thermal chamber (or stably maintain the ambient air temperature in the room) to eliminate the influence of an additional error in the formation of pseudo-ranges up to the GNSS NC.

Bibliography:

1. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 29, 2018 N 2831 "State verification scheme for coordinate-time measuring instruments".

2. Fedotov V.N., Vasiliev R.M., Fedotov A.A. GLONASS navigation equipment calibration stand. – Bulletin of the metrologist

No. 4. - 2011. - 15 p.

2.5. Шупен К.Г.

Релятивистские поправки к частоте и уходу космических часов ГНСС

(АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург)

Высокоточная синхронизации космических часов на борту космических аппаратов (КА) в составе орбитальных группировок (ОГ) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), предполагает обязательный учет релятивистских смещений частоты бортового стандарта частоты и компенсацию релятивистского ухода бортовой шкалы времени (БШВ), которые обусловлены релятивистскими и гравитационными эффектами (РГЭ), установленными общей и специальной теорией относительности.

В общем случае полнота и достаточность компенсации влияния РГЭ определяется требованиями к точностным характеристикам эфемеридно-временного обеспечения ГНСС. Если РГЭ корректируются не полностью, то эти неучтенные составляющие:

- имеют характер не исключенных периодических и квазипериодических систематических погрешностей и в процессе летной эксплуатации бортовых часов КА трудноразличимы с погрешностями эфемерид в силу их витковой повторяемости;

- могут быть соизмеримы или превышать непрогнозируемый уход бортовых часов, обусловленный нестабильностью частоты часов, что снижает точность прогноза частотно-временных поправок к БШВ КА.

Очевидной особенностью РГЭ является то, что они не наблюдаются при наземной отработке любых образцов

космических часов, поэтому должна предусматриваться их компенсация при эксплуатации космических часов на орбите.

К числу основных релятивистских и гравитационных эффектов, влияние которых на частоту космических часов уже достаточно хорошо изучено и подтверждено, относятся [1,2]:

- относительный гравитационный сдвиг частоты, обусловленный влиянием массы Земли с учетом второй зональной гармоники потенциала;
- относительный доплеровский сдвиг частоты второго порядка, обусловленный движением КА на круговой орбите в гравитационном поле сферической Земли.

Влияние этих эффектов проявляется в смещении номинала частоты и периодическом его изменении, связанном с неравномерным движением КА в неоднородном гравитационном поле Земли, а также под влиянием гравитационных полей Луны и Солнца. Релятивистское изменение частоты космических часов приводит к соответствующим изменениям в БШВ, передаваемой КА ГНСС. Эти эффекты должны быть скомпенсированы путем расчета релятивистских поправок с целью приближения БШВ КА к координатному времени, что является первоначальным условием корректного функционирования ГНСС.

В докладе на основе данных открытых источников выполнен обзор результатов космических экспериментов по обнаружению и оценке вклада РГЭ и представлены предложения по усовершенствованию релятивистских преобразований в связи с использованием в составе космических часов ГНСС бортовых стандартов частоты с улучшенными точностными характеристиками.

Представлены предварительные аналитические расчеты вклада РГЭ, обусловленного движением КА в гравитационном поле Земли с учетом влияния второй зональной гармоники нормального потенциала Земли для КА на геосинхронной, геостационарной и эллиптической околоземных орбит КА ГНСС Galileo, Beidou, QZSS. Выполнено сравнение с аналогичными вкладами для круговых орбит ГНСС GPS и ГЛОНАСС.

Литература:

1. Neil Ashby Relativity in the Global Positioning System. Living Reviews in Relativity ISSN 1433-8352, 2003

2. Пучков В.Ю., д.т.н. Шебшаевич В.С. Учет релятивистских и гравитационных эффектов при обработке результатов измерений

в системе Navstar. «Зарубежная радиоэлектроника», 1989, №1, с.54-60

2.6. Сальцберг А.В.

Учет влияния космической среды при прогнозировании ухода бортовых шкал времени ГНСС

(АО «РИПВ», г. Санкт-Петербург)

Для успешной эксплуатации космического аппарата (КА) в составе глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) необходимо учитывать влияние на его бортовые системы окружающего космического пространства.

Рабочие характеристики ГНСС определяются точностными характеристиками бортового квантового стандарта частоты (КСЧ). В связи с этим особую значимость обретает задача оценки влияния космической среды на бортовые КСЧ в процессе эксплуатации. Основные эффекты успешно моделируются и учитываются на этапе разработки и наземной экспериментальной отработки КСЧ. Однако существует необходимость идентификации и корректного учета эффектов, не воспроизводимых в земных условиях и являющихся следствием воздействия космической среды на бортовые КСЧ.

Наиболее важными факторами космической среды, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации КА, являются солнечная активность и магнитное поле.

Выполненное качественное сравнение фазовых вариаций, наблюдаемых в шкалах времени КА GPS и ГЛОНАСС, а также изменений значений параметров солнечной и геомагнитной активности показало, что прослеживается наличие устойчивой взаимосвязи между этими процессами. Зачастую изменениям сигналов бортовых КСЧ предшествуют всплески солнечной и геомагнитной активности. Положительным фактором является то, что эти процессы представляют собой медленно меняющиеся по времени вариации (с периодом от нескольких часов до нескольких суток) и могут быть успешно скомпенсированы математическими методами, например обновлением прогноза ухода бортовых шкал времени (БШВ) КА.

Для выявления наиболее значимых взаимосвязей проведен спектральный и корреляционный анализы рядов данных

расхождений бортовых шкал времени КА и параметров солнечной и геомагнитной активности.

Представлен алгоритм учета влияния факторов окружающего пространства и условий эксплуатации на поведение БШВ КА при прогнозировании частотно-временных поправок.

Для более полного понимания механизмов влияния космической среды на поведение бортовых КСЧ необходимо создание системы непрерывного контроля функционирования в процессе эксплуатации, а также дальнейшие исследования с участием специализированных научных организаций, что позволит в перспективе выявить закономерности и усовершенствовать математические модели, описывающие поведение бортовых КСЧ, а также использовать данные, получаемые космическими миссиями, для изучения динамики окружающего космического пространства.

2.7. Шабанов В.Е., Челышов С.Ю.

Приемные модули наземных радионавигационных систем

(АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург)

В настоящее время в дополнение к глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС) становится актуальным применение наземных радионавигационных систем (РНС). Это особенно ярко проявляется в условиях применения систем радиоэлектронного противодействия, приводящих к искажению сигналов ГНСС вплоть до невозможности корректной работы по их сигналам.

Имеющимися цепочками наземных РНС перекрывается значительная часть суши и акватории мирового океана, представляющих зону интересов нашего государства.

Приемная аппаратура потребителей (АП) РНС разработана и выпускается в настоящее время рядом предприятий-изготовителей. Существуют два варианта структурного построения приемных модулей этих систем: без перехода на промежуточную частоту (ПЧ) и с переходом на ПЧ.

В выпускаемой АО «РИРВ» АП оба структурных варианта реализованы в серийно выпускаемых модулях на зарубежной элементной базе фирм Analog Devices, Texas Instruments, AMIC, MAXIM, Silicon Laboratories, Altera и ряда других. В настоящее

время имеются проблемы вплоть до неразрешимых с поставками всей зарубежной ЭКБ.

Проведен анализ (ЭКБ предлагаемых отечественными изготовителями: на 1-м этапе – по перечню ЭКБ-2021 с приемкой «5» и перечню ЭКБ НХ 01-2022, на 2-м этапе – по интернет ресурсам предприятий изготовителей и поставщиков, на 3-м этапе – по непосредственным контактам с представителями предприятий изготовителей и поставщиков как на профильных выставках (РАДЭЛ-2022 и др.), так и по электронной почте и телефонным переговорам.

Как результат выбора для реализации отечественной ЭКБ было сформировано подмножество позиций импортозамещения.

С применением выбранной ЭКБ были разработаны схемы, выполнена трассировка печатных плат, изготовлены образцы и проведена их предварительная настройка. При этом сохранены габаритные, установочные и присоединительные размеры замещаемых серийных модулей. Также сохранены интерфейсные характеристики как по сигнальной, так и по информационной части. Сохранены все функциональные и точностные характеристики.

Проведение перечисленных разработок позволит обеспечить серийный выпуск приемных модулей наземных радионавигационных систем независимо от поставок ЭКБ зарубежного производства. Сохранение всех характеристик модулей позволит перейти на их использование в комплексной аппаратуре без дополнительных затрат на конструирование, доработку принципиальных схем и корректировку программного обеспечения.

2.8. Никитин А.В., Примаков Д.А., Чельшов С.Ю. Комплексная навигационная аппаратура для построения контрольно-корректирующих станций (АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург)

При анализе современных требований, предъявляемых к точности и непрерывности координатно-временного обеспечения потребителей радионавигационных систем, крайне актуальным становится вопрос построения дифференциальных подсистем, основанных на совместной передаче корректирующей информации как к сигналам глобальных навигационных

спутниковых систем (ГНСС), так и к сигналам импульсно-фазовых радионавигационных систем (ИФРНС). При этом актуальным также остается вопрос об используемых каналах доставки корректирующей информации конечным потребителям.

В зависимости от функционального назначения дифференциальной подсистемы для доставки корректирующей информации могут быть использованы следующие каналы связи:

- канал передачи информации на основе передатчика средневолнового радиомаяка;
- канал передачи информации на основе передатчика УКВ диапазона;
- канал передачи информации на основе доступа к сети Интернет с использованием ЛВС, Wi-Fi или GSM-модемов;
- канал передачи информации на основе передатчика станции ИФРНС.

Концепция построения контрольно-корректирующих станций, формирующих корректирующую информацию к сигналам ГНСС и ИФРНС, в отличие от стандартных решений предусматривает следующее:

- дополнение станции интегрального контроля и аппаратуры опорной станции блоком приемника сигналов ИФРНС.
- дополнение программного обеспечения аппаратуры опорной станции математическим аппаратом, позволяющим формировать корректирующую информацию к сигналам ИФРНС;
- дополнение программного обеспечения аппаратуры станции интегрального контроля математическим аппаратом, позволяющим контролировать качество корректирующей информации к сигналам ИФРНС;
- дополнение программного обеспечения контрольной станции возможностью конфигурирования: приема и обработки сигналов ИФРНС, формирования и передачи корректирующей информации к сигналам ИФРНС, процесса приема и контроля качества корректирующей информации к сигналам ИФРНС;
- комплект средств передачи корректирующей информации потребителям по различным каналам связи.

Навигационные комплексы для построения контрольно-корректирующих станций, осуществляющие совместную обработку навигационных данных ГНСС и ИФРНС, а также

использующие корректирующую информацию к сигналам ГНСС и ИФРНС, находятся в стадии разработки.

2.9. Никитин А.В., Примаков Д.А., Челышов С.Ю.
Основные характеристики навигационных комплексов геоинформационных систем
(АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург)

Наиболее важными требованиями к навигационно-временному обеспечению аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) являются: точность, непрерывность и гладкость координатно-временного решения.

После анализа рынка модулей, обеспечивающих прием и обработку сигналов ГНСС, с учетом возможности их воспроизводства и доступности приобретения крупными партиями, были выбраны следующие модули:

- модуль приемоизмерительный космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS «К-161» ТСЮИ.468157.109 ТУ;
- навигационный модуль РНМ-214 ЦДКТ.464315.098;
- навигационный модуль Sino 803;
- навигационный модуль ГЛОНАСС/GPS/SBAS/GALILEO ПРО-04М ИЛТА.464346.008 ТУ.

При проведении испытаний навигационных модулей использовался имитатор сигналов ГНСС со специальным сценарием, имитирующим перемещения высокодинамичного объекта.

По результатам испытаний наиболее хорошие результаты показали навигационные модули К-161 ТСЮИ.468157.109 и РНМ-214 ЦДКТ.464315.098.

Исходя из прогнозов создания отечественной ЭКБ и анализа требований потребителей в части развития построения навигационных модулей можно сделать следующие заключения о перспективности следующих направлений:

- включение в состав модулей высокопроизводительных вычислительных средств для решения задач комплексирования при получении навигационного решения и расширения реализуемых информационных интерфейсов;
- добавление в состав модулей малогабаритных встраиваемых ИНС для реализации непрерывности

- навигационного решения в случаях кратковременного прекращения приема сигналов ГНСС;
- прием и обработка навигационных сигналов ГНСС Galileo и BeiDou, основываясь на БМК-технологии.

2.10. Поляков А.А., Защиринский С.А.

Метод выбора проектных параметров гиперскоростных пенетраторов для исследования небесных тел

(АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

Аннотация: Для изучения характеристик грунта небесных тел солнечной системы на необходимо решение задачи создания гиперскоростных пенетраторов. Для выбора проектных параметров гиперскоростных пенетраторов, необходима разработка методики, включающая модель динамики внедрения объектов со скоростями более 1 км/с в твердую поверхность и учитывающую особенности возникновения инерциального взрыва металлических изделий для его недопущения при ударном внедрении гиперскоростного пенетратора в грунт небесного тела.

Ключевые слова: Гиперскоростной пенетратор, инерциальный взрыв, внедрение в грунт, небесные тела, модель динамики внедрения, деформируемый ударник.

Для изучения тел Солнечной системы активно используются посадочные модули космического аппарата, осуществляющие "мягкую" посадку на исследуемый объект. Такая операция требует организации трудоемких операций связанных с использованием различных приборов и сложными баллистическими маневрами.

Поэтому для доставки полезной нагрузки на тела Солнечной системы без применения вариантов мягкой посадки были разработаны «пенетраторы» - устройство, достигающих поверхность исследуемого тела с высокой скоростью и заглублением в грунт.

Для изучения характеристик грунта небесных тел солнечной системы на больших глубинах необходимо решение задачи создания гиперскоростных пенетраторов. Для выбора проектных параметров гиперскоростных пенетраторов, необходима разработка методики, включающая модель динамики внедрения объектов со скоростями более 1 км/с в твердую поверхность и учитывающую особенности возникновения инерциального взрыва металлических изделий для его недопущения при ударном внедрении гиперскоростного пенетратора в грунт небесного тела.

Гиперскоростной пенетратор должен состоять из двух узлов - тонкого длинного наконечника (ударника) и прочного концевика с полезной нагрузкой. Тонкий наконечник должен выполнять роль поглотителя кинетической энергии пенетратора. Однако при высокой ударной перегрузке использование металлических изделий может приводить к металлизации на внутренней полости воронки за счет испарения металла и даже инерциальному взрыву, негативно влияющих на эффективность всей научной миссии.

На основе анализа состава грунта небесных тел получены аналитические зависимости для определения скорости, деформации ударника пенетратора, глубины проникания как функции параметров пенетратора, условий его запуска и физико-механических свойств реголита.

На сегодняшний день экспериментальной отработки полноразмерных пенетраторов со скоростями выше 1 км/с не проводилось. С целью экспериментального подтверждения зависимостей глубины проникания и скорости движения, а также валидации предложенного метода выбора проектных параметров гиперскоростного пенетратора были использованы результаты экспериментов где в качестве ударников были использованы компактные и удлиненные стержни с плоским торцом.

Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных исследований показывает достаточно хорошую сходимость результатов расчета и опытов.

Разработан метод выбора проектных параметров гиперскоростных пенетраторов для исследования небесных тел. Предложенный метод позволяет определить параметры и характеристики, а также условия запуска пенетратора, доставляющего модуль целевой и служебной аппаратуры.

Литература:

1. В.С. Финченко, К.М. Пичхадзе, В.В. Ефанов. Надувные элементы в конструкциях космических аппаратов – технология в ракетно-космической технике. Москва. ООО «Буки Веди», 2019.

2. Леун Е.В., Нестерин И.М., Пичхадзе К.М., Поляков А.А., Сысоев В.К. Обзор схем пенетраторов для контактных исследований космических объектов // Космическая техника и технологии. 2022. №2

3. Багров А.В., Сысоев В.К. Концепция скоростного пенетратора для доставки полезной нагрузки на космические тела // Космические исследования. 2015. Т. 53. № 6.

4. A. V. Bagrov, V. A. Leonov, E. V. Leun, A. A. Polyakov, V. K. Sysoev Hyperspeed penetrator to deliver research equipment to interstellar wanderers AIP Conference Proceedings 2318, 190002 (2021);

5. К.М. Пичхадзе, В.В. Малышев Математическое обеспечение для проектно-баллистического исследования динамики неуправляемого движения спускаемого аппарата. М.: МАИ, 2018.

2.11. Терентьев М.Н.

Применение беспроводных сенсорных сетей в космических системах (МАИ, г. Москва)

Аннотация: Рассмотрены группы задач, решение которых при помощи беспроводных сенсорных сетей (БСС) добавляет новые, не достижимые иными способами возможности. В эти группы входят организация коммуникаций в орбитальных группировках, мониторинг на борту космического аппарата, расширение возможностей дистанционного зондирования Земли. Новые возможности обусловлены способностью БСС к долгосрочной работе в необслуживаемом режиме без предварительного создания инфраструктуры и при сверхнизком потреблении энергии.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, БСС, космические системы

К первой группе относятся задачи организации коммуникаций между наноспутниками компактной орбитальной группировки (ОГ). Характерными чертами задач первой группы являются небольшие расстояния между наноспутниками ОГ — десятки километров — и дефицит электрической энергии. Дефицит энергии обусловлен малыми размерами наноспутников, а, следовательно, и их панелей солнечных батарей. Применение БСС вместо более энергозатратной основы для коммуникаций обосновано тем, что БСС снижает остроту дефицита энергии, что открывает новые возможности, например, по использованию научной аппаратуры. Примерами задач первой группы являются задача передачи командной и телеметрической информации при стыковке наноспутников, а также задача организации

коммуникаций внутри роя научных наноспутников, подробно рассмотренная в шестой главе.

Ко второй группе относятся задачи организации мониторинга на борту космического аппарата (КА). Например, система непрерывного мониторинга психофизиологического состояния экипажа КА, не ограничивая двигательной активности космонавтов, должна функционировать фактически непрерывно во время обычной жизнедеятельности космонавтов. Она состоит из закреплённых на костюмах маяков, регистрирующих местонахождение членов экипажа и объективные показатели их психофизиологического состояния, и реперов с известным положением. Питание маяков осуществляется от гальванических элементов. Передача информации между маяками и бортовым медицинским компьютером выполняется при помощи БСС. Сверхнизкий расход энергии БСС обеспечивает необходимую долговечность измерителей, что позволяет достичь основной цели исследования — его непрерывности в течение заданного периода времени.

Другими примерами задач второй группы являются задача организации мониторинга раскрытия панелей солнечных батарей КА, задача организации мониторинга состава атмосферы пилотируемого КА.

Применение БСС в этой группе задач обосновано тем, что БСС обеспечивает бортовой системе мониторинга необходимые качества — долговечность, отсутствие требований к инфраструктуре, возможность оперативного развёртывания.

К третьей группе относятся задачи расширения возможностей дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за счёт специализированных БСС, обеспечивающих контроль недоступных космическому сегменту ДЗЗ параметров. Одним из примеров является система обнаружения и контроля тушения торфяных пожаров.

Тушение торфяных пожаров осложнено двумя обстоятельствами. Во-первых, торф насыщен воздухом, что позволяет ему продолжать горение даже в условиях изоляции под землёй. Во-вторых, слоистая структура торфа препятствует выходу продуктов горения на поверхность, что затрудняет обнаружение очага подземного торфяного пожара по спутниковым снимкам. Система обнаружения и контроля тушения торфяных пожаров расширяет данные ДЗЗ за счёт их

комбинирования с измерениями наземного сегмента, состоящего из сотен/тысяч узлов БСС, измеряющих температуру в подземном слое торфа.

Применение БСС обосновывается тем, что БСС расширяет возможности ДЗЗ, позволяя создавать производные продукты на основе данных Единой территориально-распределённой информационной системы (ЕТРИС) ДЗЗ. На базе ЕТРИС ДЗЗ также могут быть созданы производные продукты для интеллектуализации сельскохозяйственных предприятий (умные поля, умные фермы) и городских территорий (умный город).

Обобщая рассмотренные группы задач, делается вывод о том, что применение БСС позволяет КС приобрести новые, недостижимые иными способами возможности, что свидетельствует о целесообразности использования БСС в составе КС.

2.12. Жорняк А.Г., Морозова Т.А.

Специфика разработки визуальных пользовательских интерфейсов в программном обеспечении на языке программирования Python в задачах научных вычислений, анализа данных и машинного обучения (МАИ, г. Москва)

Python — современный быстроразвивающийся язык программирования. Основными направлениями использования языка программирования Python являются научные вычисления, анализ больших массивов данных и задачи машинного обучения. Популярность использования языка Python в этих задачах объясняется наличием большого количества специализированных библиотек, таких как NumPy, Matplotlib, Pandas, SciPy, Scikit-Learn, TensorFlow, Keras, содержащих большой набор готового функционала, использование которого существенно упрощает процесс решения вышеуказанных задач и сокращает время, требуемое на разработку программного обеспечения.

Рассмотрены особенности разработки визуального пользовательского интерфейса в программном обеспечении на языке Python в задачах научных вычислений, анализа данных и машинного обучения [1,2].

Были рассмотрены наиболее популярные специализированные библиотеки языка программирования Python предназначенные для разработки визуальных пользовательских интерфейсов [3]:

1. Встроенная в язык Python библиотека Tkinter, разработанная на основе библиотеки графических компонентов Tk и динамического языка программирования Tcl;

2. Дополнительная библиотека wxPython, разработанная на основе библиотеки wxWidgets языка программирования C++;

3. Дополнительная библиотека PyQt, разработанная на основе дизайнера визуальных интерфейсов среды разработки Qt языка программирования C++;

4. Дополнительная библиотека PyGTK, разработанная на основе библиотеки компонент GTK;

5. Дополнительная библиотека PySimpleGUI;

Проведен сравнительный анализ особенностей использования библиотек Tkinter, wxPython, PyQt, PyGTK, PySimpleGUI для создания визуальных пользовательских интерфейсов в программах для научных вычислений, анализа данных и машинного обучения на языке программирования Python.

Определены рекомендации к выбору библиотеки для создания визуальных пользовательских интерфейсов в программном обеспечении на языке Python в зависимости от решаемых разработчиком задач [4,5].

Также рассмотрен вопрос возможности интеграции двумерных и трехмерных графиков библиотеки Matplotlib в состав визуальных пользовательских интерфейсов, созданных на основе библиотек Tkinter, wxPython, PyQt, PyGTK, PySimpleGUI.

Литература:

1. Жорняк А.Г., Морозова Т.А., Наумченко В.П., Разработка визуального пользовательского интерфейса в программах для научных и инженерных вычислений на языке программирования Python. Часть 1. Основы разработки визуального пользовательского интерфейса, Научно-технический вестник Поволжья, 2022 №11, С.51-54.

2. Жорняк А.Г., Морозова Т.А., Наумченко В.П., Разработка визуального пользовательского интерфейса в программах для научных и инженерных вычислений на языке программирования

Python. Часть 2. Библиотека wxPython, Научно-технический вестник Поволжья, 2022 №12, С.131-134.

3. Жорняк А.Г., Разработка визуального пользовательского интерфейса в программах для научных и инженерных вычислений на языке программирования Python. Часть 3. Дизайнеры пользовательских интерфейсов wxPython, Научно-технический вестник Поволжья, 2022 №12, С.135-138.

4. Козорез Д.А., Старков А.В. Формализация задачи распределения потоков целевой информации в сложных организационно-технических системах // СТИН, 2022. № 7 с. 2-5.

5. Старков А. В., Федоров А. В., Зай Яр Вин. Программно-математическое обеспечение для анализа вариантов построения орбитальных группировок дополнения ГЛОНАСС // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2021, том 18, №3, с. 18-25 DOI: 10.14489/vkit.2021.03.pp.018-025.

2.13. Жорняк А.Г., Морозова Т.А.

Работа с базами данных в программном обеспечении на языке программирования Python в задачах анализа данных и машинного обучения

(МАИ, г. Москва)

Одними из основных направлений использования языка программирования Python являются задачи машинного обучения, а также обработка и анализ больших массивов данных. При этом одним из наиболее распространенных способов хранения больших массивов данных являются базы данных, а для их функционирования используются различные системы управления базами данных (СУБД), такие как: MSSQLServer, Oracle, PostgreSQL, MySQL, FireBird. Таким образом, становится актуальным вопрос организации взаимодействия программного обеспечения на языке Python с различными СУБД.

На сегодняшний день язык программирования Python имеет достаточно широкий набор библиотек, предназначенных для организации взаимодействия с базами данных: PyODBC, SQLAlchemy, Pymssql, Psycopg2, PyMySQL, cx_Oracle. И для большинства из существующих СУБД в языке Python есть несколько разных библиотек, с помощью которых может быть организовано взаимодействие [1].

Рассмотрены универсальные библиотеки SQLAlchemy и PyODBC языка Python, поддерживающие возможность работы с множеством СУБД.

Рассмотрены основные принципы программного интерфейса ODBC для доступа к базам данных, а также построенная на основе данного интерфейса библиотека PyODBC.

Рассмотрены основные принципы объектно-реляционной модели ORM, а также построенная на основе данной модели библиотека SQLAlchemy.

Также рассмотрены узкоспециализированные библиотеки языка Python для взаимодействия с СУБД: библиотека cx_Oracle для СУБД Oracle, библиотека Psycopg2 для СУБД PostgreSQL, библиотека Pymssql для СУБД MSSQLServer, библиотека PyMySQL для СУБД MySQL.

Проведен сравнительный анализ эффективности рассмотренных библиотек PyODBC, SQLAlchemy, Pymssql, Psycopg2, PyMySQL, cx_Oracle языка Python для взаимодействия с различными СУБД.

Подготовлены рекомендации по выбору библиотеки языка программирования Python для взаимодействия с наиболее часто используемыми СУБД [2,3]: MSSQLServer, Oracle, PostgreSQL, MySQL.

Литература:

1. Жорняк А.Г., Морозова Т.А., Наумченко В.П., “Специфика применения языка программирования Python при работе с базами данных”, Научно-технический вестник Поволжья, 2022 №5, стр.90-92.

2. Козорез Д.А., Старков А.В. Формализация задачи распределения потоков целевой информации в сложных организационно-технических системах // СТИН, 2022. № 7 с. 2-5.

3. Старков А. В., Федоров А. В., Зай Яр Вин. Программно-математическое обеспечение для анализа вариантов построения орбитальных группировок дополнения ГЛОНАСС // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2021, том 18, №3, с. 18-25 DOI: 10.14489/vkit.2021.03.pp.018-025.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,
УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ**

**Анализ и синтез
систем**



Для заметок

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on the right side, suggesting it's resting on a surface.

3.1. Пиявский С.А.⁽¹⁾, Малышев В.В.⁽²⁾**Метод уверенных суждений при принятии
многокритериальных решений***(1-МГПУ Самарский филиал, 2-МАИ, г. Москва)*

В [1] предложен достаточно разветвленный подход к принятию многокритериальных решений в условиях неустранимой неопределенности и риска, что затрудняет его понимание. В настоящем докладе поясняется одна из главных идей подхода. Авторы полагают, что, с учетом органической неопределенности, присущей многокритериальным задачам, попытки «с аптекарской точностью» обосновать (например, экспертным путем) числовые значения весовых коэффициентов нормированных частных критериев в их комплексной свертке являются нерациональными. Вместо этого достаточно ограничиться распределением частных критериев по нескольким группам важности, например, «обычные», «важные», «наиболее важные». Дело в том, что, как следует из теоремы Колмогорова о средних и наших исследованиях [1], универсальная структура комплексной свертки частных критериев имеет всего две разновидности: в среднем (свертка Лапласа) или по минимаксу (свертка Гермейера). Для каждой из этих разновидностей показано, что если рассмотреть все множество возможных значений весовых коэффициентов, удовлетворяющих заданному распределению частных критериев по группам важности, то окажется, что среднее значение комплексного критерия по всей совокупности этих коэффициентов будет совпадать с его значением для некоторого среднего из значений самих коэффициентов, а это значение для каждой конфигурации распределения можно вычислить заранее. Например, если в задаче принятия решения участвуют три частных критерия, то возможны всего 4 различных конфигурации их распределения по группам важности. Если все три критерия имеют одинаковую важность («обычные»), то значения их весовых коэффициентов также одинаковы и равны $1/3$. Если два критерия «обычные», а третий критерий «важен», то значения весовых коэффициентов «обычных» критериев $7/36$, а весовой коэффициент «важного» критерия $11/18$. Если же «обычным» является один критерий, а два других – «важные», то их весовые коэффициенты равны соответственно $1/9$ и $4/9$. Наконец, если все критерия имеют

различную важность, то их весовые коэффициенты равны $1/9$, $5/18$ и $11/18$. Имея заранее рассчитанные подобные таблицы, зная алгоритмы расчета, пользуясь программой, выдающей их значения по запросу, становится легко решать многосоставные задачи многокритериальной оптимизации. Все это подробно и с примерами изложено в [1].

Литература:

1. Пиявский С.А., Малышев В.В. Новые методы принятия многокритериальных решений в цифровой среде. – М. : Наука, 2022. – 391 с.

3.2. Пиявский С.А.⁽¹⁾, Малышев В.В.⁽²⁾

Система формирования навыков творческого мышления при подготовке инженерных кадров
(1-МГПУ Самарский филиал, 2-МАИ, г. Москва)

Во всем мире происходит стремительный прогресс образовательной сферы, связанный с ее цифровизацией и использованием в педагогическом процессе интеллектуальных информационных технологий, моделирующих процесс интеллектуального развития обучаемых. Это формирует запрос на системную реорганизацию сложившихся в российской высшей школе методов выявления и развития творчески одаренной молодежи в сфере науки и техники. Реорганизованная система, по-прежнему опирающаяся на выполнение на кафедрах и в научных группах автономных индивидуальных студенческих учебно-научных исследований под индивидуальным руководством преподавателей по тематике, предложенной предприятиями и при консультировании специалистами этих предприятий, должна быть дополнена несколькими системообразующими модулями:

- единая база предлагаемой предприятиями тематики учебно-научных исследований;
- единая система критериев оценки развивающего творческого уровня выполненного учебно-научного исследования;
- единая система мониторинга и наукометрической поддержки хода выполнения и результатов учебно-научной деятельности;
- интеллектуальная информационно-консультационная система, позволяющая каждому включенному в сообщество

студенту самостоятельно моделировать с учетом своих индивидуальных особенностей стратегии своего профессионально-творческого развития на определенный период;

- аналитический и исследовательский модуль, обеспечивающий оценку эффективности системы, проведение необходимых исследований по ее развитию, планирование и отчетность;
- единая информационная платформа и базы данных, обеспечивающие эффективное функционирование перечисленных модулей.

В докладе излагается успешный опыт авторов при реализации существенных элементов подобной системы в Единой самарской областной системе мер по выявлению, развитию и вовлечению в инновационную деятельность творчески одаренной молодежи в сфере науки и техники, в Московском авиационном институте (национальном университете), Самарском государственном архитектурно-строительном университете, Самарском филиале Московского городского педагогического университета.

Литература:

1. С.А.Пиявский, Исследовательская деятельность студентов в инновационном вузе: учебник; СГАСУ. – Самара:2011 -198 с.

3.3. Абубекеров М.К., Тучин М.С., Стекольников О.Ю., Потанин С.А., Захаров А.И., Прохоров М.Е., Гостев Н.Ю. Малогабаритный звездный датчик АЗДК-2

(ООО «Азмерит», резидент ИНТЦ Воробьевы Горы, Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва)

В связи с повышением требований к малогабаритным звездным датчикам (МЗД) компания «Азмерит» приступила к разработке МЗД АЗДК-2.

Массогабаритные характеристики МЗД АЗДК-2 будут близкими к характеристикам МЗД АЗДК-1. Звездный датчик будет иметь две модификации – с короткой блендой и длинной блендой. Внешний облик и габариты прибора будут представлены в докладе. Потребление прибора составит около 1.5 Вт.

Прибор будет опираться в своей работе на звездный каталог глубиной до 7.5 звездой величины. Диаметр поля зрения составит 30°. Случайная погрешность определения ориентации АЗДК-2 будет лучше 5 угл. сек, частота выдачи решения до 20 Гц.

Предполагается изготовить первые образцы приборов в четвертом квартале 2023 года.

Nano star tracker AZDK-2

Abubekеров M.K., Tuchin M.S., Stekolshchikov O.Yu., Potanin S.A., Zakharov A.I., Prokhorov M.E., Gostev N.Yu. (Azmerit LLC, Resident of the STIC MSU, Sternberg Astronomical Institute of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

In connection with the increased requirements for small-sized star trackers, the Azmerit LLC has started developing the Nano star tracker AZDK-2.

Weight and size characteristics of Nano star tracker AZDK-2 will be close to those of Nano star tracker AZDK-1. The star tracker will have two modifications - with a short baffle and a long baffle. The appearance and dimensions of the device will be presented in the report. The consumption of the device will be about 1.5 W.

The device will rely in its work on a star catalog with a depth of up to 7.5 magnitude stars. The diameter of the field of view will be 30°. The random error in determining the orientation of the Nano star tracker AZDK-2 will be better than 5 arcsec, decision frequency up to 20 Hz.

It is expected to produce the first samples of devices in the fourth quarter of 2023.

3.4. Дроботухин В.К., Васильев Е.В.

Телеуправляемый подводный необитаемый аппарат с интегрированной системой управления с элементами искусственного интеллекта

(АО «СПМБМ «Малахит», г. Санкт-Петербург)

В исследовании рассматриваются основные подходы к разработке системы управления телеуправляемого подводного необитаемого аппарата с элементами искусственного интеллекта.

Оцениваются возможности системы управления на основе контроллера *Pixhawk*, а именно распознавание подводных

объектов и контроль психофизиологического состояния оператора ТНПА при выполнении поставленных задач.

Основой разработки системы управления и алгоритмов является использование экосистемы контроллера *Pixhawk* на основе протокола *mavlink*. Применение данного контроллера и одноплатного компьютера позволяет в кратчайшие сроки перенастраивать систему под определенные задачи в зависимости от конфигурации движительного комплекса управляемого средства.

Рассматривается возможность применения одноплатных компьютеров при классификации подводных объектов при наличии минимальной предварительной информации об объекте исследования. Приведены сравнительные характеристики классификации объектов в зависимости от типа нейронных сетей. Проанализирован опыт развертывания нейронной сети *YOLOv8* на одноплатном компьютере.

Контроль психофизиологического состояния оператора определяется за счет интегрированного пакета искусственного интеллекта *mediapipe*.

Приведена дорожная карта научно-исследовательской работы с дальнейшими возможностями масштабирования в рамках разработки автопилотируемых подводных необитаемых аппаратов с применением метода доставки до точки назначения с беспилотного летающего аппарата за счет парашютной системы.

Приведены основные достоинства применения аддитивных технологий при разработке необитаемых подводных аппаратов.

Tele-operated unmanned underwater vehicle with integrated control system with elements of artificial intelligence

Drobotukhin V.K., Vasiliev E.V. (SPMDB "Malachite", Saint-Petersburg, Russia)

The study examines the main approaches to the development of a teleoperated unmanned submersible control system with elements of artificial intelligence technology.

The capabilities of the control system based on the *Pixhawk* controller are evaluated, namely the recognition of underwater objects and control of the psycho-physiological state of the underwater vehicle operator when performing the assigned tasks.

The basis for development of the control system and algorithms is the use of the *Pixhawk* controller ecosystem based on the *mavlink* protocol. Application of this controller and a single-board computer allows in the shortest terms to reconfigure the system for certain tasks depending on the configuration of the propulsion complex of the controlled vehicle.

The possibility of using a single-board computer for underwater objects classification in the presence of minimal preliminary information about the object of research is considered. Comparative characteristics of classification of objects depending on the type of neural networks are given. Experience of deploying the *YOLOv8* neural network on a single-board computer is analyzed.

Control over operator's psycho-physiological state is defined by means of integrated artificial intelligence package *mediapipe*.

A research roadmap with further scalability in the development of autopiloted underwater unmanned submersibles using the method of delivery to destination from an unmanned aerial vehicle by parachute system is presented.

The main advantages of applying additive technologies to the development of unmanned underwater vehicles are outlined.

3.5. Курносов А.А., Рудко А.А.

Совместимость сложных технических систем – системный анализ таксономий

(АО «СПМБМ «Малахит», г. Санкт-Петербург)

Применительно к сложным системам рассматривается многообразие проявления эффектов совместимости и узкодисциплинарные таксономии с целью нахождения общей родо-видовой таксономии совместимости. Дается авторская трактовка понятия совместимости. Совместимость рассматривается как признак сложности системы. Показывается катастрофический потенциал, присущий большинству эффектов несовместимости.

Рассмотрен ряд таксономий из разных сфер человеческой деятельности. Показано отсутствие объединяющих эти классификации сущностных признаков при многообразии таксонов.

На основе анализа частных таксономий, а также определяемых понятий сущностей возможных и абстрактных индивидов предлагается общая родо-видовая таксономия совместимости, где в качестве родовых понятий используются сущности, процессы, события, взаимодействия, причины и следствия.

Compatibility of complex technical systems - system analysis of taxonomy

Kurnosov A.A., Rudko A.A. (SPMDB "Malachite", Saint-Petersburg, Russia)

For complex systems, a variety of interoperability effects and highly disciplinary taxonomies are considered in order to find common rhodium-species taxonomies. The author's interpretation of the concept of compatibility is given. Compatibility is seen as a sign of the complexity of the system. It shows the catastrophic potential inherent in most incompatibility effects.

The article considers a number of taxonomies from different spheres of human activity. It is shown the absence of unifying these classifications of essential traits in a variety of taxa.

On the basis of the analysis of specific taxonomies, as well as the defined notions of the essences of possible and abstract individuals, a general generic taxonomy of compatibility is proposed, where essence, processes, events, interactions, causes and consequences are used as generic concepts.

3.6. Петров Д.Ю.

Анализ проблем цифровизации непрерывных производств

(ИПТМУ РАН, г. Саратов)

Современные предприятия с преобладанием непрерывного характера производства на пути повышения эффективности функционирования сталкиваются со следующими проблемами: 1) повышение эффективности использования имеющихся производственных активов, надежности технологического оборудования и производства в целом, 2) сокращение сроков проектирования и внедрения производственных систем, 3) повышение прозрачности и доступности информации о технологическом оборудовании, 4) сокращение выделяемых

финансовых средств на модернизацию производства при необходимости увеличения эффективности от их использования, 5) адаптация производства под изменяющиеся требования правового регулирования в области охраны труда и защиты окружающей среды, 6) необходимость модернизации производства для реализации тренда на виртуализацию и цифровизацию производства.

Для повышения надежности производства и повышения эффективности использования оборудования необходима эффективная система обслуживания и ремонтов оборудования, которая обладает возможностью диагностики состояния оборудования и предсказательной оценки.

На сокращение сроков проектирования и внедрения производственных систем существенно влияет прозрачность и доступность информации о технологическом оборудовании, которая обеспечивается единой целостной базой данных и инструментами имитационного моделирования. Анализ результатов имитационного моделирования позволяет определить наилучшие технические решения, которые обеспечат увеличение эффективности использования выделяемых финансовых средств на модернизацию производства.

Единая база данных должна иметь возможность размещения и актуализации большой нормативной базы требований в области охраны труда и окружающей среды, которые нужно соблюдать при проектировании и эксплуатации технологических процессов. С учетом этой информации разрабатываются актуальные технические регламенты, инструкции безопасности и др. необходимые для подготовки и повышения квалификации операторов технологических процессов.

Для получения отдачи от средств вложенных в цифровизацию производства необходима комплексная среда, которая позволяет разрабатывать адекватные реальным технологическим процессам (ТП) математические модели и интегрировать их с базами данных реального времени. Комплексное использование статистических и аналитических математических моделей позволит создать цифровые двойник производства (ЦДП), которые обеспечивают адекватный прогноз состояния ТП в краткосрочной перспективе и понимание функционирования ТП на основе универсальных законов сохранения и других фундаментальных физических и физико-

химических закономерностей. ЦДП обеспечивают оптимизацию режимов функционирования и выявление сочетаний технологических параметров, соответствующих аварийным ситуациям.

3.7. Потапова Д.Ю., Феоктистова О.Г.
Методы прогноза динамики изменения и построения
прогностической оценки основных показателей
деятельности авиакомпании
(МГТУ ГА, г. Москва)

При рассмотрении прогностических задач, связанных с авиакомпаниями, в большинстве случаев, мы имеем дело с очень большим числом реализаций случайных событий: число проданных билетов, масса грузов, время задержки рейса, число рейсов, число воздушных судов, вылет или прилет которых задержан и т.п. Именно поэтому рабочим аппаратом соответствующих задач выступает математическая статистика и теория вероятностей.

Ясно, что все причины, приводящие к подобным событиям, независимы друг от друга и вполне допустимо считать, что вклад каждого из факторов в общем случае относительно невелик. В рамках сказанного допустимо считать, что количественная оценка исследуемого события ξ - представляет собой сумму большого числа малых слагаемых, порожденных отдельными факторами. Это открывает путь к применению центральной предельной теоремы, утверждающей, что в этом случае случайная величина ξ является нормально распределенной величиной, плотность распределения вероятностей которой описывается законом Гаусса.

Как известно, суть статистического прогнозирования сводится к определению статистических характеристик случайной величины $x(t)$ в момент $t_2 > t_1$ по известным ее статистическим характеристикам в момент t_1 .

Таким образом, имеется возможность по знанию случайной величины в момент времени t_1 провести корректировку прогноза на момент t_2 . Здесь, как видно, решающую роль при корректировке прогноза играет степень коррелированности, т.е. радиус корреляции ρ исследуемого процесса.

Особо следует обратить внимание на функциональную зависимость корректирующего слагаемого от значения средне квадратичного отклонения на уровне значимости 0,01. Названная взаимосвязь показывает, что даже при практически некотором числе степеней свободы корректирующее слагаемое увеличивается при росте значения σ_2^2 и достигает достаточно больших значений при большом значении средне квадратичного отклонения. При наличии сильной корреляционной связи при большом значении средне квадратичного отклонения σ_1^2 корректировку можно избежать. Влияние значения коэффициента корреляции на точность прогноза реально начинает проявлять себя при $\rho \geq 0,4-0,45$. При малом значении σ_1^2 корректировка может быть весьма заметна.

Для обоснования гипотезы, что число проданных авиабилетов подчиняется Гауссовому распределению, их массив из 60 чисел был подвергнут соответствующей статистической обработке и проверке выдвинутой гипотезы по нескольким критериям согласия.

Для проверки соответствия статистических закономерностей был выбран, критерий χ^2 , дающий возможность количественно оценивать правомерность использования того или иного закона распределения. Количественной мерой в этих случаях выступает само число χ^2 :

Основу организации производства любой авиакомпании, занимающейся перевозками пассажиров, грузов и почты, составляет, в конечном счете, умение удачно предвидеть последствия своей организации производства. Крупные просчеты в этой области привели к разорению и, в конечном счете, к гибели десятков авиакомпаний среди которых даже такие крупные как «Трансаэро», «Татарстан», «Домодедовские авиалинии», «Пулково» и другие. Каковы бы ни были свои причины катастроф этих авиакомпаний, общая причина – это грубые просчеты с локальными и длительными прогнозами на реализацию их услуг в части объема перевозки пассажиров и грузов и, как следствие на расходы и доходы от оказания услуг.

Взаимный корреляционный анализ однотипных фактических показателей работы авиакомпаний дает возможность разделить флуктуации на те, которые вызваны общими причинами, как правило, вызванными общим состоянием экономики страны, и на те, причины которых присущи самой

авиакомпаний. Это дает возможность обосновать аналитические зависимости изменения основных показателей работы авиакомпании во времени и выполнить кратко и долго срочные прогнозы этих показателей. Так, например, для суммарных показателей всех авиакомпаний РФ за рассматриваемый промежуток времени достаточно удачной является квадратичная аппроксимация. В этом случае погрешность прогноза редко оказывается более, чем 6-8%.

Если прогнозировать с приемлемой точностью интегральные узловые характеристики всей гражданской авиации в целом, представляется относительно несложной задачей, то прогноз для конкретной авиакомпании, напротив, далеко непростая задача. Это является следствием резкой изменчивости основных жизнеопределяющих характеристик авиакомпаний.

Одной из центральных задач авиакомпании является разработка прогнозов показателей ее деятельности: денежный оборот, объем продаж, средний тариф, изменение численности работников и т.д. По этим показателям необходима разработка:

- эвристического прогноза, опирающегося на математическую обработку статистических данных за последние 20 лет и их экстраполяцию на ближайшие годы.

- оптимистического прогноза, опирающегося на концепцию медленного, но устойчивого роста объема авиаперевозок и сохранения доли продаж авиаперевозок.

- пессимистического прогноза опирающегося на концепцию концепции существенного ежегодного падения объема продажи билетов.

Для построения прогностических моделей изменения интересующих авиакомпанию показателей, определяющих ее деятельность, со степенью достоверности до 5-6% целесообразно использовать:

- для относительно «спокойных» периодов экономического состояния авиакомпании - квадратичную зависимость, где конкретные значения коэффициентов определяются, опираясь на конкретные данные в трех характерных для данной величины временных точках;

- для переходного периода (неустойчивого) экономического состояния авиакомпании - целесообразно в качестве основы использовать синусоидальную зависимость, а для корректировки

иногда имеет смысл использовать мультипликативную зависимость.

Названный подход перспективен для достаточно больших промежутков времени, когда небольшие флуктуации не играют большой роли.

Статистика продаж пассажирских авиабилетов предшествующего периода показывает хорошую коррелируемость их с объемами перевозок даже в нестабильных условиях деятельности. В изменившихся же условиях, борьба за самовыживаемость становится определяющим принципом. Поэтому представляется целесообразным оперирование минимум тремя видами прогноза продаж авиаперевозок:

- эвристическим прогнозом, базирующимся на обработке статистики продаж перевозок, как доли от общего объема отправок, которая практически не изменяется в прогнозируемом периоде.

- оптимистическим прогнозом, учитывающим благоприятное развитие экономики, сохранение достигнутого взаимодействия с традиционными партнерами-перевозчиками, развитие отношений с другими авиакомпаниями, в том числе на рынке международных перевозок.

- пессимистическим прогнозом, учитывающим неблагоприятный ход развития экономики, потери доверия со стороны традиционных партнеров, недостаточную эффективность усилий по сохранению своего места и роли на рынке продаж авиаперевозок.

Важную роль при построении прогнозов играет информация о взаимной корреляционной связи помесечного числа продаж авиабилетов. Обращает на себя внимание факт наличия очень высокой корреляционной связи (коэффициент корреляции больше 0,9) числа продаж авиабилетов между различными месяцами открывает возможности устойчивого успешного прогнозирования продаж авиабилетов течение года.

Заметное улучшение точности прогноза основных показателей деятельности авиакомпаний, опирающегося на детерминистскую. аппроксимацию и сводящегося по сути к определению соответствующих математических ожиданий, может быть достигнуто при учете прогноза дисперсий и радиусов корреляций. Последнее может быть осуществлено, только

опираясь на соответствующие плотности распределения вероятностей прогнозируемых величин.

Флуктуации численных значений показателей деятельности авиакомпаний вызываются большим количеством всевозможных и, как правило, малозначимых и независимых между собой причин. Этот факт в точности соответствует условиям применения центральной предельной теоремы, выводящей на Гауссову плотность распределения вероятностей этих показателей, которые могут выражаться в рублях, килограммах, часах, числе авиапассажиров и т.п.

Наличие корреляционной связи между значениями основных показателей деятельности авиакомпаний позволяет уменьшить дисперсию оценки прогнозируемой величины, при этом абсолютная точность прогноза оценки напрямую зависит как от численного значения радиуса корреляции, так и от отношения соответствующих среднеквадратичных значений, относящихся к последовательным моментам времени.

Литература:

1. Конкурентоспособность и перспективы развития российских авиаперевозчиков/Аналитическая записка. Электронный ресурс. Эксперт. - 2003. -Режим доступа: <http://www.raexpert.ru/researches/avia/avia.pdf>

2. Конюховский П.В. Математические методы исследования операций в экономике / П. В. Конюховский. – СПб., 2000. – 208 с.

3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ: ЮНИТИ-Дана, 2003. – 773 с.

3.8. Бобронников В.Т., Дьячук А.К.

Система поддержки принятия решений для формирования ветродизельной системы энергоснабжения автономного потребителя энергии по критерию «затраты-эффективность»
(МАИ, г. Москва)

Объектом рассмотрения является гибридная ветродизельная энергетическая система (ВДЭС), предназначенная для снабжения энергией автономного потребителя энергии (ПЭ) [1, 2]. Обсуждаются методические, алгоритмические и вычислительные аспекты создания системы поддержки принятия решений (СППР), предназначенной для использования на этапе

формирования облика ВДЭС по заказу ПЭ, предполагающего применять данную систему в определенном регионе РФ, по критерию «затраты-эффективность» [3].

Основными компонентами СППР являются ядро, база данных, а также входные и выходные интерфейсы для взаимодействия оператора с системой.

В состав ядра СППР входят: функциональная и экономическая модели ВДЭС; блок расчета частных показателей эффективности системы, в том числе функционального, затратного, эксплуатационного и экологического показателей; блок формирования критерия предпочтения, учитывающий указанные частные показатели; программный модуль для оптимизации основных проектных параметров системы, таких как установленная мощность ветрогенератора, мощность дизельного генератора, емкость накопителя энергии (аккумуляторной батареи).

База данных СППР содержит варианты циклограмм нагрузок ПЭ, характеристики ветра для заданных мест развертывания системы на территории РФ, функциональные и стоимостные характеристики компонентов ВДЭС, актуальные данные о затратах на приобретение, логистику, развертывание, эксплуатацию и техническое обслуживание системы.

Представлены результаты расчета примера формирования ВДЭС, предназначенной для ее эксплуатации в одном из регионов РФ, полученные с использованием макета разработанной СППР.

Литература:

1. Bobronnikov V., Trifonov M. Technique of a wind-diesel power system formation for a stand-alone consumer using a cost-efficiency criterion: systems approach. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2022. Т. 11. № 5. С. 288 – 295.

2. Shivaie M. et al. A reliability-constrained cost-effective model for optimal sizing of an autonomous hybrid solar/wind/diesel/battery energy system by a modified discrete bat search algorithm // Solar Energy. 2019. Vol-189. P. 344 – 356. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.075>.

3. Бобронников В.Т., Дьячук А.К. Разработка макета системы поддержки решений, принимаемых при формировании ветродизельной системы для автономного потребителя энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 4. С. 55 – 59.

The decisions support system to form a wind-diesel power system for a stand-alone consumer using a cost-efficiency criterion

Bobronnikov V.T., Diyachuk A.K. (Moscow Aviation Institute)

The object of consideration is the hybrid wind-diesel power system (WDPS) intended to supply a stand-alone power consumer (PC) [1, 2] with energy. Methodical, algorithmic and computing aspects of decisions support system's (DSS) creation for use at the WDPS conceptualization forming stage by the request of PC, who assumes to apply the given system in a specified region of Russian Federation, by the "cost-efficiency" criterion, are discussed [3].

The main components of DSS are: the kernel, the database and input-output interfaces for the interaction between an operator and the system.

The DSS kernel consists of: functional and economic models of WDPS; the efficiency criteria estimation unit, including functional, economic, operational and environmental performance indicators; the program unit, which is used to optimize the system's basic design parameters, as the installed power of a wind generator, the power of a diesel generator and the storage battery capacity.

The DSS database contains variants of PC loads cyclograms, wind characteristics at given regions of WDPS operation in Russian Federation, functional and cost performances of WDPS components, actual costs data of purchasing, deployment, operation and the system maintenance service.

The results of the developed WDPS example, intended for its operation at the specified region of Russian Federation, calculated using the created DSS prototype, are presented.

Bibliography:

1. Bobronnikov V., Trifonov M. Technique of a wind-diesel power system formation for a stand-alone consumer using a cost-efficiency criterion: systems approach. // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2022. Vol. 11. Num. 5. P. 288 - 295.
2. Shivaie M. et al. A reliability-constrained cost-effective model for optimal sizing of an autonomous hybrid solar/wind/diesel/battery energy system by a modified discrete bat search algorithm // Solar Energy. 2019. Vol-189. P. 344 - 356.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.075>

3. V. T. Bobronnikov and A. K. Diyachuk. The development of a decisions support system prototype when a wind-diesel power system for a stand-alone consumer is forming.// Scientific and technical Volga Region bulletin. 2023. Num. 4. P. 55 – 59.

3.9. Виноградов С.О.

Использование нейросетей и машинного обучения в радиооборудовании воздушных судов

(ФГБОУ ВО УИ ГА, г. Ульяновск)

Актуальность обусловлена активным развитием и распространением нейросетей и машинного обучения. Внедрение машинного обучения в разные сферы деятельности человека открывает множество возможностей в самой эффективной и глубокой модернизации оборудования, автоматизации и минимизирования неблагоприятных случаев. Это следующая ступень в развитии технологий, приближающая нас к освоению совершенных методов оптимизации и решения задач прикладного характера применимо к радиооборудованию в воздушных судах будущего.

Например, нейросети активно используются в обработке и распознавании изображений, робототехнике, а также в более близкой теме к радиооборудованию – беспилотные автомобили. Последняя тема разобрана чуть более подробно в исследовании. Использование алгоритмов по обработке и преобразованию данных позволит частично, а с течением некоторого времени почти полностью снять излишнюю нагрузку на аппаратуру и пилотов, а также обеспечит возможность автоматизации некоторых процессов, таких как взаимодействие с наземными службами, системами посадки, а также со спутниковыми системами навигации.

Также в этой статье будет полезно рассмотреть некоторые методы, используемые в обучении нейросетей и предоставлении им доступа к системам, принимающим информацию об окружающей обстановке и состоянию параметров различных систем, таких как системы навигации и самолетовождения, системы автопилота, систем радиосвязи и других радиоэлектронных систем воздушных судов.

Глубокая модернизация всех систем воздушных судов будущего позволит не только уменьшить количество потребляемой энергии оборудованием, но и значительно

уменьшить площадь, занимаемую аппаратурой и приборами (что, кстати, применяется на некоторых современных самолетах и вертолетах), но и общий их вес, так как использование машинного обучения возьмет на себя роль получения и обработки различной информации, поступающей от датчиков систем, антенн и других приемников.

Помимо всего прочего, необходимо рассмотреть возможное влияние использования нейросетей и искусственного интеллекта на безопасность полетов и эксплуатации систем, так как это по-прежнему очень серьезный вопрос в современной авиации, и увеличение безопасности в воздухе позволит стать одним из ключевых факторов ввода машинного обучения в эксплуатацию радиооборудования.

Литература:

1. Франсуа Шолле, Глубокое обучение на Python, 2018 г.
2. Ясер Абу-Мостафа, Магадон-Исмаил, Сюань-Тянь Линь, Learning From Data, 2012 г.
3. Николенко С., Кадурын А., Архангельская Е., Глубокое обучение, 2018 г.
4. Бастиан Шарден, Лука Массарон, Альберто Боскетти, Крупномасштабное машинное обучение вместе с Python, 2017 г.
5. Нилс Джей Нилсон, Введение в машинное обучение, 1997 г.

Use of Neural Networks and Machine Learning in Aircraft Radio Equipment

Vinogradov S.O. (Ulyanovsk Civil Aviation Institute)

The relevance is due to the active development and proliferation of neural networks and machine learning. Introduction of machine learning in different spheres of human activity opens many opportunities in the most effective and profound modernization of equipment, automation and minimization of adverse cases. This is the next step in the development of technology, bringing us closer to mastering perfect optimization methods and solving problems of applied nature applied to the radio equipment in the aircrafts of the future.

For example, neural networks are actively used in image processing and recognition, robotics, as well as in a closer topic to radio equipment - unmanned cars. The latter topic is dealt with in a little more detail in the study. The use of algorithms to process and transform data

will allow partially, and over time almost completely, the unnecessary burden on hardware and pilots, and will provide the ability to automate some processes, such as interaction with ground services, landing systems, as well as satellite navigation systems.

Also in this article it will be useful to review some methods used in training neural networks and giving them access to systems that receive information about the environment and parameter states of various systems, such as navigation and aircraft guidance systems, autopilot systems, radio communication systems and other radio electronic systems of aircrafts.

Deep modernization of all aircraft systems of the future will not only reduce the amount of energy consumed by equipment, but also significantly reduce the area occupied by equipment and instruments (which, incidentally, is used on some modern aircraft and helicopters), but also their overall weight, as the use of machine learning will take on the role of receiving and processing various information coming from sensors systems, antennas and other receivers.

Among other things, it is necessary to consider the possible impact of using neural networks and artificial intelligence on flight safety and system operation, as this is still a very serious issue in modern aviation, and increasing safety in the air will be a key factor in the introduction of machine learning in the operation of radio equipment.

3.10. Воронцов В.А., Макаров Н.Ю.

К вопросу о концепции баланса: "Рациональный космос"
(Госкорпорация «Роскосмос», АО «Организация «Агат», г. Москва)

Современная космическая деятельность достигла значительных масштабов. Мировая орбитальная группировка по состоянию на конец 2022 года включала 7 188 космических аппаратов (далее - КА). Согласно прогнозам, их количество может удвоиться уже в 2025 году в связи с общемировой тенденцией использования многоспутниковых систем малых КА.

Унификация и эффект масштаба при создании космических средств, дающие значительную экономию на Земле, грозят стать причиной значительных неудобств на ее орбитах. Например, в 2022 году количество опасных (расстояние менее 1,5 км) сближений космических объектов (орбитального мусора) только с

КА отечественной орбитальной группировки (далее - ОГ) составило более 16 000. Учитывая, что эта ОГ в 2022 составила менее трех процентов от мировой, можно представить общий масштаб проблемы сейчас и его конфигурацию к 2025 году.

Таким образом в настоящее время космическая деятельность осуществляется в логически замкнутой системе "Земля - Космос", которая, помимо прочего, характеризуется балансом эффективности: если экономическая эффективность растет на Земле (в форме удешевления и роста производственной эффективности создания КА), она же в одном из своих аспектов начинает убывать в космосе (в форме снижения доступности и безопасности самых востребованных типов орбит - низких, и увеличения вероятности потерь КА на этих орбитах; то есть в том числе и в форме экономических потерь, выраженных в выбытии КА и эффектов в отраслях экономики, получаемых на основании использования передаваемой этими КА информации).

Данная ситуация фактически является постановкой новой задачи для поиска оптимума экономической эффективности в упомянутой логически замкнутой системе при необходимости обеспечения доступности рабочих орбит для восполнения и наращивания орбитальных группировок, например, в разрезе поиска оптимумов:

- орбитального построения и схмотехнических решений КА, количества КА в системе, влияния запуска КА этой системы на доступность орбит;
- реинжиниринга в космическом промышленном секторе при формировании производства КА для рационализации затрат на их создание.

Результаты решения этой задачи могут быть интерпретированы для разработки новых аспектов производственной, технологической и государственной политики в сфере космической деятельности - в контексте используемых для программно-целевого планирования целевых, временных и бюджетных параметров.

Реализация описанной парадигмы также способна оказать влияние на ход технологического развития. В случае концентрации системы государственного управления на решении подобных комплексных задач, можно ожидать качественного

изменения подходов общества к решению задач в сфере космической деятельности.

To the Conception of a Balance: "Rational Space"

Vorontsov V.A., Makarov N.Y. (ROSCOSMOS, JSC "Organization "Agat", Moscow, Russia)

International space activities of today have reached significant proportions. At the end of 2022, the sum of active orbital units have reached 7,188. According to forecasts, this number may double already in 2025 due to the transition to orbital systems based on small (micro- and nano-) satellites.

Unification and economies of scale, which provide significant savings on Earth, threaten to cause some problems in its orbits. For example, in 2022, the number of dangerous (distance less than 1.5 km) approaches of space objects (orbital debris) only from the spacecraft of the ROSCOSMOS was more than 16,000. Considering that in 2022 this approaches was caused by only 192 spacecraft of 7,188 that total located in orbits, it is possible to imagine the overall scale of this problem in 2025.

It means that space activities are carried out in a logically closed system "Earth - Space", which also is characterized by a balance of efficiency: if economic efficiency increases on Earth (as cheaper and more productive spacecraft creation), it also begins to decrease in space (as reduced availability and the safety of the of low orbits, and as an increasing of probability to lose the spacecraft on this orbit; also in the form of economic losses for economic sectors due to become space information unavailable).

This situation, thereby, provides us a new view. It may be introduced as a new task for finding the optimum of economic efficiency in the mentioned above logically closed system. For example, the search for the optimal configuration of spacecraft, the costs of their creation, the capacity, the number of spacecraft in the system, the impact of this system for the availability of orbits. The results of solving this problem can be interpreted for the development of new aspects of industrial, technological and state policy in the field of space activities - in the context of the target, time and budget parameters used for program-targeted planning.

In addition, the described paradigm, if it is fixed in the legislative and regulatory documents of the state and/or as industrial standards, can influence the course of technological development. In the case of concentration of both (the real sector of the economy and the public administration system) on solving such complex tasks, we can expect a qualitative change in the system of instrumental and planned approaches to solving a variety of tasks in the field of society activities.

3.11. Воронцов В.А., Яценко М.Ю., Рыжков В.В.

Анализ факторов, влияющих на качество фото- и видеосъемки на Венере с помощью мультироторного летательного аппарата *(МАИ, г. Москва)*

В работе рассматривается концепция исследования Венеры с помощью мультироторного летательного аппарата (МРЛА) – устройства вертикального взлета и посадки. Основная цель работы – определение основных факторов, влияющих на качество фото- и видеосъемки на Венере, а также предложение способов по их учету и минимизации их влияния. Для этого анализируются условия функционирования мультироторного летательного аппарата в атмосфере Венеры, а также характеристики используемых камер и методы обработки полученных изображений.

Качество фото- и видеосъемки на Венере зависит от ряда факторов, которые можно разделить на две группы: внешние и внутренние.

Внешние факторы связаны с условиями атмосферы и облаков Венеры, которые влияют на пропускание, рассеяние и поглощение света. Такими факторами являются: солнечное освещение, облачный слой (который является основным препятствием для съемки поверхности планеты), атмосферная турбулентность (характеризуется высокой скоростью ветра и большими температурными градиентами). Внутренние факторы связаны с характеристиками МРЛА и используемых камер, а также с методами обработки полученных изображений.

Таким образом, в исследовании были рассмотрены основные факторы, влияющие на качество фото- и видеосъемки на Венере с помощью мультироторного летательного аппарата. Было показано, что для съемки на Венере необходимо учитывать

условия атмосферы и облаков Венеры, которые влияют на пропускание, рассеяние и поглощение света. Было предложено использовать камеры с высоким разрешением, чувствительностью и динамическим диапазоном, а также с широким цветовым пространством. Было рекомендовано применять различные методы обработки изображений, такие как коррекция цветового баланса, повышение контрастности, устранение шумов, увеличение резкости и стабилизация изображения. Было сделано заключение, что съемка на Венере представляет собой сложную, но, вместе с тем, интересную задачу, которая требует применения современных технологий и алгоритмов.

Литература:

1. Яценко М.Ю., Воронцов В.А. К вопросу о включении в программу исследования Венеры дополнительных технических средств // Космические аппараты и технологии, 2022, Т. 6, № 1, с. 5-13. DOI: 10.26732/j.st.2022.1.01.

2. Яценко М.Ю., Воронцов В.А., Рыжков В.В. Обзор проблемных вопросов создания мультироторного летательного аппарата для исследования Венеры. Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 2. <http://engjournal.ru/catalog/arise/adb/2255.html>.

3. Model of the structure of the atmosphere of Venus from the surface to 100 km altitude /A. Seiff, J.T. Schofield , A.J. Kliore [et al.]. – Text : direct // Advances in Space Research. – 1985. – Vol. 5. – No. 11. – P.3-58.

4. Фурашев Д. А. Методы улучшения качества изображений: отчет о НИР / Д.А. Фурашев; науч. рук. М. Н. Фаворская; Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2023. – 120 с.

3.12. Малышев А.В.⁽¹⁾, Семенов А.А.⁽¹⁾, Тепцов В.А.⁽²⁾

Некоторые аспекты проектирования космических средств инспекции

(1 - АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», 2 - МАИ, г. Москва)

С каждым годом космическое пространство все более заполняется различными объектами, остающимися на орбитах после выполнения всевозможных экспериментов в космосе. Для обеспечения безопасности космических полетов нужно

перемещать или уничтожать неиспользуемые орбитальные объекты, находящиеся на трассах полетов космических аппаратов. Инспекция космических объектов – форма контроля за космической деятельностью государств, направленная на получение данных о космическом объекте, предназначении и характере функционирования в целях обеспечения уверенности в соблюдении международных правовых норм. Инспекция орбитальных объектов, о которых нет или почти нет никакой предварительной информации, представляет собой сложную операцию с осуществлением встречи и, возможно, стыковки, т. е. операцию, до некоторой степени сходную с операцией спасения на орбите.

Новым важным направлением является разработка методов оптимизации создания средств космической инспекции, позволяющих решать вопросы технического обслуживания космических аппаратов, что увеличит срок активного существования данных аппаратов. Важнейшим примером может являться инспектирование Национальной Орбитальной Космической Станции (НОКС) и слежение за космическим мусором, который может нанести вред целостности конструкции. Предполагается, что система для инспектирования НОКС, будет работать на околоземных орбитах, в частности на орбите полета НОКС.

Вопрос реализации инспекционного движения влечет за собой ряд задач, которые можно условно разделить на две группы. К первой группе относится, например, задача выбора номинальной траектории и начальных параметров движения, которые позволят спутникам в группировке сохранять свое относительное положение на протяжении длительного промежутка времени. Ко второй – выбор стратегии маневрирования для поддержания инспекционного движения, которая позволит оптимально использовать энергетические ресурсы малых спутниковых платформ.

Обобщающими показателями эффективности являются показатели экономической эффективности, характеризующие целесообразность произведенных на создание и функционирование системы затрат. Требования, предъявляемые к системе, должны учитывать среду функционирования космического аппарата, эффективность системы управления, эффективность управления и реализации, интеграции и

испытании систем. Надежность данной системы определяется необходимостью сохранить во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных условиях применения, срабатывание бортовых систем, корректную работу систем обнаружения неполадок, попадание космического мусора в сам спутник-инспектор, безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость.

Авторами приводятся начальные условия движения инспектирующего КА для получения замкнутой относительной траектории в центральном гравитационном поле. Предложен алгоритм формирования инспекционного движения для круговых орбит опорного аппарата. Предложено уточненное определение инспекционного движения, учитывающее эллиптические орбиты опорного КА. Реализацию формирования и уточнению определения инспекционного движения предлагается использовать при разработке средств космической инспекции планируемой НОКС.

3.13. Егошин С.Ф.

Оценка эффективности новой авиационной техники в авиатранспортной системе местных воздушных линий России

(ФГБУ «НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», г. Жуковский)

Актуальность работы обусловлена необходимостью решения государственной задачи, указанной в «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года»: обеспечить доступность и качество услуг транспорта для населения, предприятий экономики и государственных служб применительно ко всем типам транспортных перевозок, включая местные пассажирские.

В работе исследуется экономическая целесообразность внедрения новых технических решений и объектов авиационной техники, предназначенных для обеспечения транспортной связности территорий РФ при организации местных воздушных линий (МВЛ).

Работа строится на методологии системного анализа. Рассматривается общегосударственная транспортная система местных перевозок, сформированная по признаку единого

государственного субсидирования. В качестве целевой оптимизируемой функции выбирается сумма затрат на функционирование данной транспортной системы при заданных объемах пассажироперевозок и заданных ограничениях.

По итогам работы:

- показано, что в настоящее время организация МВЛ в России не соответствует современным требованиям к местным перевозкам как предоставляемым транспортным услугам;
- разработана методика оценки эффективности применения новой авиатехники и новых технологий на основе задачи оптимизации транспортной системы местных перевозок с учетом ограничения на время местной поездки, как вводимого общегосударственный стандарт;
- предложен алгоритм поиска приближенного решения сформулированной математической задачи;
- на основе рассмотренной методики и модельно-методического аппарата разработан соответствующий программный комплекс;
- проведены исследования для некоторых новых летательных аппаратов: самолетов L-410NG, ЛМС-901 «Байкал», синтез-облика самолета ЛМС, самолета короткого взлета и посадки (КВП) на основе L-410, оснащенного распределенной электросиловой установкой обдувки крыла, а также вертолета «Ансат».

Расчеты показали, что применение новых самолетов (за исключением самолета КВП) позволяет снизить суммарные затраты в авиатранспортной системе на 8÷12%. В то же время, задействование в парке самолета КВП не приводит к снижению суммарных затрат, что связано с уменьшением транспортных возможностей самолета, несмотря на экономию затрат на функционирование аэропортов. Полученные выводы позволяют более рационально планировать разработку перспективных самолетов и развитие авиатранспортной системы МВЛ.

Evaluation of the effectiveness of new aviation equipment in the air transport system of Russian local airlines

Egoshin S.F. (National Research Center "Zhukovsky Institute", Zhukovsky, Russia)

The relevance of the work is due to the need to solve the state task specified in the "Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030", i.e. to ensure the availability and quality of transport services for the population, economic enterprises and public services in relation to all types of transport, including local passenger transport.

The paper investigates the economic efficiency of the introduction of new technical solutions and aircraft facilities designed to ensure the transport connectivity of the territories of the Russian Federation by means of the organization of local air lines.

The work is based on the methodology of system analysis. The national transport system of local transportation, formed on the basis of a single state subsidizing, is considered. As a target optimized function, the total costs for the operation of this transport system are selected under the conditions of the specified volumes of passenger traffic and the specified restrictions.

The results of the work:

- it is shown that present organization of Russian local airlines does not meet modern requirements for local transportation as transport services provided;
- a methodology has been developed for evaluating the effectiveness of the use of new aircraft and new technologies based on the nonlinear task of optimizing the transport system of local transportation, taking into account the restrictions on the time of local travel, as introduced by the national standard;
- an algorithm for finding an approximate solution to a formulated mathematical problem is proposed;
- on the basis of the considered methodology and the model-methodical apparatus, an appropriate software package has been developed;
- studies have been carried out for some new aircraft: L-410NG aircraft, LMS-901 Baikal aircraft, the synthesis appearance of the LMS aircraft, the L-410-based short take-off and landing aircraft equipped with a distributed electric wing blowing unit, as well as the Ansat helicopter.

Calculations performed have shown that the use of new aircraft (excluding the short take-off and landing aircraft) reduces the total costs of the air transport system by 8-12%. At the same time, the use of the short take-off and landing aircraft in the fleet does not lead to a reduction in total costs, which is associated with a decrease of the transport capabilities of this aircraft, despite the cost savings on the operation of airports. The obtained conclusions make it possible to more rationally plan the development of promising aircraft and the development of the air transport system of Russian local airlines.

3.14. Кравчик Т.Н., Деткин А.В.

Методика параметризации математической CAD модели (МАИ, г. Москва)

Обсуждается методика параметризации математической CAD модели для последующей разработки управляющей программы (УП) в Siemens NX 2206, которая позволяет в процессе изменения параметрической CAD модели адаптировать не только 3D модель, но и перестроить управляющую программу, тем самым значительно сокращая время на разработку УП. Применение методики параметризации моделей продемонстрировано на примере имитаторов лопаток 3х ступеней. В результате были разработаны: параметрическая CAD модель имитатора лопатки, оснастка для установки изделия на станке, УП для 3-х координатной фрезерной обработки с ЧПУ, автоматически изменяющаяся для каждой ступени имитатора. Был разработан и успешно внедрён технологический процесс изготовления имитаторов, который базируется на параметрической модели. В докладе сформулированы основные положения и правила проектирования одноступенчатых моделей для последующей разработки универсальных управляющих программ для станков с ЧПУ.

3.15. Кудрявцев С.В., Розовенко В.М.

К вопросу о методическом обеспечении испытаний космической техники (АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

В ходе испытаний (автономных, комплексных) космической техники (КТ) осуществляется оценка большого количества функциональных параметров, позволяющих оценить

соответствие характеристик изделия заданным в ТТЗ требованиям.

В качестве показателя оценки соответствия используется степень или уровень реализации технической характеристики образца ($U_{БП}$) как соотношение:

$$U_{БП} \leftrightarrow \frac{БП}{БП_T},$$

где $БП$ – уровень характеристики (реализованный на испытаниях);

$БП_T$ – теоретически достижимый уровень характеристики [1].

Расчет теоретически достижимого уровня характеристики базируется на моделировании (математическом, полунатурном) процесса функционирования образца КТ (макета) или задается специалистами (экспертами).

Для комплексной оценки состояния изделия КТ вводится понятие уровня выполнения требований к изделию на этапе испытаний, которое рассчитывается по совокупности полученных результатов испытаний на основе обобщения характеристик методом линейной свертки частных показателей.

Литература:

1. Таммеоя А.Ю., Москвителев Н.И., Таммеоя В.А. Прикладные методы сравнительной оценки и боевые потенциалы военной техники // М.: 2000. С.159-167.

3.16. Кудрявцев С.В., Розовенко В.М.

Оценка технического уровня изделий РКТ на основе теории нечетких множеств

(АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

Важнейшей задачей при создании РКТ является оценка технического уровня изделий на различных этапах их жизненного цикла, к которым относятся исследование, проектирование, конструирование, производство, испытания, эксплуатация. Интегральный показатель технического уровня РКТ определяется совокупностью показателей технического совершенства на основе многокритериальных оценок.

С учетом общепринятого перечня показателей технического уровня продукции машиностроения и совокупности воздействующих условий случайного характера оценку состояния и качества изделий РКТ можно отнести к расчетной задаче в

условиях неопределённости с использованием подхода из теории нечётких множеств [1].

В методике расчета технического уровня образца РКТ совокупность факторов (признаков), влияющих на его техническое состояние, рассматривается в качестве нечетких множеств. Качественные показатели выражаются в виде балльной оценки, предоставляемой экспертами, с дальнейшим представлением в виде функций принадлежности. Функции принадлежности, полученные по разным группам показателей, суммируются по правилам Л. Заде и агрегируются в один числовой показатель известными методами Чью-Парка, Чанга, Джейна, Дюбуа-Прада.

При расчетах интегрального показателя важнейшим этапом исследований является нахождение относительного веса для каждого показателя как среднего арифметического значения оценок экспертов вклада каждого фактора.

Литература:

1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств//М.: 1982, 432 с.

3.17. Куимов А.В.

Постановка задачи параметрического синтеза адаптивной системы информационно - телеметрического обеспечения запусков перспективных ракет космического назначения
(МАИ, г. Москва, АО «ЦНИИмаш», г. Королёв)

В докладе представлена формализация основных процессов функционирования системы информационно-телеметрического обеспечения (СИТО) запусков ракет космического назначения (РКН), которая описывает:

- входы и выходы СИТО;
- структуру СИТО, включающую средства бортовой информационно-телеметрической системы (БИТС) и наземного измерительного комплекса (НИК);
- информационные потоки в элементах СИТО;
- параметры элементов СИТО.

В результате формализованного описания основных процессов функционирования СИТО определены:

- параметры, характеризующие степень достижения цели системы – переменные параметры информационных потоков в каналах передачи ТМИ;
- варьируемые параметры СИТО – параметры, определяющие план задействования каналов передачи, телеметрической информации и программу формирования информационных потоков СИТО;
- допустимые пределы изменения варьируемых параметров – определяются параметрами технических средств СИТО и параметрами режимов их функционирования;
- функциональные зависимости варьируемых параметров от входов и параметров элементов СИТО;
- функциональные зависимости, описывающие влияния варьируемых параметров на параметры, определяющие степень достижения цели системы.
- система показателей и критериев качества функционирования СИТО.

В докладе приведено, что в качестве критерия качества СИТО принято обеспечение минимальной апостериорной неопределенности телеметрируемых параметров РКН на выходе СИТО при ограничении на информационную производительность по располагаемым ресурсам пропускной способности каналов передачи информации.

Формализация процессов функционирования СИТО легла в основу постановки задачи параметрического синтеза адаптивной СИТО запусков, которая выглядит следующим образом:

- известны параметры, характеризующие: телеметрируемые параметры РКН, БИТС, НИК, форматы данных в информационных потоках СИТО;
- необходимо определить: значения варьируемых параметров СИТО, обеспечивающих выполнение критериев показателей качества функционирования СИТО.

Решение данной задачи заключается в формировании и анализе исходных данных телеметрируемых параметров РКН, потоков телеметрических сообщений в СИТО, бортовых и наземных технических средств СИТО, возмущающих воздействий на элементы СИТО; в определении количества информации в потоке телеметрических сообщениях, распределении ресурсов каналов передачи ТМИ между наземными измерительными пунктами, определении параметров программы формирования

информационных потоков; в оценке полученных результатов и обосновании рекомендаций по созданию адаптивной СИТО запусков перспективных РКН.

3.18. Буряк Ю.И., Петров А.В.

Применение методов имитационного моделирования в задачах синтеза многоуровневой системы материально-технического обеспечения эксплуатации авиационной техники

(МАИ, г. Москва)

Возможность обеспечения требуемых показателей эксплуатационной готовности воздушных судов (ВС) при минимальных затратах является важным элементом, определяющим конкурентоспособность авиационной техники на мировом рынке. Величина эксплуатационных затрат определяется характеристиками как самого изделия, так и системы его технической эксплуатации, включающей в себя взаимосвязанные системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и материально-технического обеспечения (МТО). Как показывает практика, в структуре этих затрат основную роль играют затраты на МТО, включающие в себя затраты на формирование и поддержание складских запасов запасных частей ВС, их хранение и транспортировку. Величина затрат на МТО, в свою очередь, определяется структурой и параметрами соответствующей системы МТО, создаваемой для обеспечения эксплуатации определенного парка ВС в заданном регионе. Как правило, такая система является многоуровневой (эшелонированной) и включает в себя: склады завода-изготовителя (ремонтного предприятия), региональные склады, склады авиакомпаний, одиночный ЗИП и др. с определенными логистическими потоками между ними и выбранными для каждого типа запасных частей моделями пополнения запасов.

Задачи оптимизации объемов запасных частей, в том числе в многоуровневых системах МТО, достаточно хорошо проработаны в работах отечественных и зарубежных ученых - разработаны математические модели Metric и Vari-Metric [1], методы оптимизации запасов в одиночных и групповых комплектах ЗИП [2,3]. В приведенных моделях и методах поток заявок в систему МТО является простейшим Пуассоновским, что справедливо для

больших и интенсивно эксплуатируемых парков ВС. При этом, в силу данного допущения, использование указанных методов нецелесообразно при следующих условиях: размер парка ВС небольшой или меняется во времени, параметр потока отказов составных частей существенно зависит от наработки (например, в силу их физического износа), применяются методы «каннибализации» ВС при нехватке запасных частей и пр.

В докладе рассматривается метод определения оптимальных объемов запасных частей на каждом уровне эшелонированной системы МТО, основанный на имитационном моделировании процессов возникновения отказов ВС, поступления соответствующих заявок в систему МТО и их удовлетворения. В рамках моделирования, в зависимости от модели надежности ВС и его составных частей, формируются нестационарные потоки заявок на разные уровни системы МТО и подбираются такие объемы запасов на каждом уровне, которые обеспечивают заданные требования к уровню готовности при минимальных затратах. Для определения объемов запасов предлагается использовать известный [3] алгоритм градиентного спуска, в котором на каждом шаге увеличение запаса конкретного типа запасных частей осуществляется по критерию «готовность-затраты» и значение коэффициента готовности запаса рассчитывается по результатам имитационного моделирования.

Предлагаемый подход позволяет не только рассчитать объемы запасов для начального периода эксплуатации парка ВС, но и определить наилучшую стратегию изменения параметров системы МТО при изменении размера парка и увеличении его наработки.

Литература:

1. Sherbrooke Craig C., Optimal Inventory Modeling of Systems. Multi-Echelon Techniques. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004
2. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП: учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012
3. Шура-Бура А.Э., Топольский М.В. Методы организации, расчета и оптимизации комплектов запасных элементов сложных технических систем. – М.: Знание, 1981

Application of simulation methods in problems of synthesis of a multi-echelon inventory system for the operation of aviation equipment

Buryak Y.I., Petrov A.V. (Moscow Aviation Institute)

The ability to provide the required level of operational availability of aircraft at minimal cost is an important element determining the competitiveness of aviation equipment on the world market. The amount of operating costs is determined by the characteristics of both the product itself and its maintenance support system, which includes interconnected maintenance and repair system and inventory system (INV). As practice shows, in the structure of these costs, the main role is played by the costs of INV, which include the costs of forming and maintaining stocks of spare parts of aircraft, their storage and transportation. The amount of INV costs, in turn, is determined by the structure and parameters of the corresponding INV system created to ensure the operation of a certain fleet of aircraft in a given region. As a rule, such a system is multi-echelon and includes: warehouses of the manufacturer (or repair center), regional warehouses, airline warehouses, single spare parts, etc. with certain logistics flows between them and replenishment models selected for each type of spare parts.

The tasks of optimizing the volume of spare parts, including in multi-echelon INV systems, are well developed in the works of domestic and foreign scientists - mathematical models Metric and Vari-Metric have been developed [1], methods for optimizing stocks in single and group sets of spare parts [2,3]. In the above models and methods, the demand to the INV system is the simplest Poisson, which is true for large and intensively operated aircraft fleets. At the same time, due to this assumption, the use of these methods is impractical under the following conditions: the size of the aircraft fleet is small or varies over time, the MTBF of components significantly depends on the operating time (for example, due to their physical wear), methods of "cannibalization" of aircraft are used when there is a shortage of spare parts, etc.

The report discusses a method for determining the optimal volumes of spare parts at each level of the echeloned INV system, based on simulation modeling of the processes of aircraft failures, receipt of relevant requests to the INV system and their fulfillment. As part of the simulation, depending on the reliability model of the aircraft and its components, non-stationary demand is formed for different levels of the INV system and such volumes of spare parts are selected at each level

that provide the specified requirements for the availability at minimal cost. To determine the volume of stocks, it is proposed to use the well-known [3] gradient descent algorithm, in which at each step an increase in the stock of a specific type of spare parts is carried out according to the "availability-costs" criterion and the value of the stock availability coefficient is calculated based on the results of simulation modeling.

The proposed approach allows not only to calculate the volume of stocks for the initial period of operation of the aircraft fleet, but also to determine the best strategy for changing the parameters of the INV system when changing the size of the fleet and increasing its operating time.

Bibliography:

1. Sherbrooke Craig C., Optimal Inventory Modeling of Systems. Multi-Echelon Techniques. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004
2. Cherkesov G.N. Evaluation of the reliability of systems taking into account the spare parts: textbook. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2012
3. Shura-Bura A.E., Topolsky M.V. Methods of organization, calculation and optimization of sets of spare elements of complex technical systems. – Moscow: Znanie, 1981

3.19. Буряк Ю.И., Петров А.В., Сидорчук С.В.

Методы и программные средства поддержки принятия решений в процессах технического обслуживания авиационной техники
(МАИ, г. Москва)

Одним из путей повышения технической готовности авиационной техники на стадии ее эксплуатации является использование различных технических систем и средств, позволяющих снизить продолжительность простоев воздушных судов (ВС) на плановом и неплановом техническом обслуживании (ТО). Как правило, к таким средствам относят автоматизированные встроенные и наземные средства контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния, непосредственно сокращающие время отыскания неисправностей ВС за счет сбора, обработки и анализа данных бортовых систем ВС. При этом необходимо отметить, что в соответствии с современными стандартами [1,2] данные о техническом состоянии ВС и его составных частей, включая сведения о

наработке, выполненных работах, выявленных отказах и изменениях в комплектации, хранятся в форме базы данных, называемой электронным делом изделия. Сведения о технологии обслуживания, отыскания и устранения неисправностей, в свою очередь, поставляются в эксплуатирующую организацию в форме т.н. интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) [3], позволяющих не только предоставлять обслуживающему персоналу в режиме реального времени сведения о порядке выполнения работ по ТО, но и формировать базу данных о действиях этого персонала и результатах этих действий.

В докладе рассматриваются методы совместного использования данных электронного дела изделия (ЭДИ) и ИЭТР в рамках интегрированного программного комплекса, направленные на сокращение продолжительности планового и непланового ТО ВС за счет аналитической обработки этих данных и поддержки принятия решений техническим персоналом по результатам анализа.

Такой подход позволяет, в частности, снизить продолжительность непланового ТО за счет корректировки в режиме реального времени логических схем отыскания неисправных элементов, основанной на совместном анализе данных о текущем техническом состоянии ВС (храняемых в ЭДИ) и накопленных данных о результатах действий персонала при этом состоянии ВС (храняемых в ИЭТР). Снижение продолжительности планового ТО может быть достигнуто, в свою очередь, за счет автоматизированного исключения из перечня регламентных работ осмотров и проверок, выполненных ранее в рамках процедур отыскания неисправностей.

Предварительный анализ баз данных ЭДИ и ИЭТР на распространенные типы ВС гражданской авиации показал возможность значительного повышения уровня технической готовности за счет применения предложенных методов, в особенности для комплексов бортового оборудования и двигателей. Более точные оценки эффективности применения предложенных методов и средств будут выполнены на последующих этапах работы.

Литература:

1. ГОСТ Р 53394-2017 Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018.

2. ГОСТ Р 54089-2018 Интегрированная логистическая поддержка. Электронное дело изделия. Основные положения и общие требования. – М.: Стандартинформ, 2018.

3. ГОСТ Р 54088-2017 Интегрированная логистическая поддержка. Эксплуатационная и ремонтная документация в форме интерактивных электронных технических руководств. Основные положения и общие требования. – М.: Стандартинформ, 2018.

Methods and software tools for decision support in the processes of maintenance of aviation equipment

Buryak Y.I., Petrov A.V., Sidorchuk S.V. (Moscow Aviation Institute)

One of the ways to improve the operational availability of aviation equipment at the stage of its operation is the use of various technical systems and means to reduce the duration of downtime of aircraft on scheduled and unscheduled maintenance. As a rule, such means include automated built-in and ground-based equipment of monitoring, diagnostics and forecasting of technical condition, directly reducing the time for finding aircraft malfunctions by collecting, processing and analyzing data from on-board aircraft systems. At the same time, it should be noted that in accordance with modern standards [1,2], data on the technical condition of the aircraft and its components, including information on operating time, work performed, detected failures and changes in equipment, are stored in the form of a database called the electronic logbook of the product. Information about the technology of maintenance, fault detection and isolation, in turn, is supplied to the operating organization in the form of so-called interactive electronic technical manuals (IETM) [3], which allow not only to provide maintenance personnel with real-time information about the procedure for performing maintenance work, but also to form a database about the actions of this personnel and the results of these actions.

The report discusses methods of sharing data of the electronic logbook of the product (ELP) and IETM within the integrated software package, aimed at reducing the duration of planned and unplanned maintenance of the aircraft through analytical processing of this data and decision support by technical personnel based on the results of the analysis.

This approach allows, in particular, to reduce the duration of unplanned maintenance due to real-time adjustments of logic diagrams

for finding faulty elements, based on a joint analysis of data on the current technical condition of the aircraft (stored in ELP) and accumulated data on the results of personnel actions in this state of the aircraft (stored in IETM). Reducing the duration of the planned maintenance can be achieved, in turn, due to the automated exclusion from the list of inspections and checks performed earlier as part of troubleshooting procedures.

Preliminary analysis of ELP and IETM databases on common types of civil aviation aircraft showed the possibility of a significant increase in the level of operational availability through the use of the proposed methods, especially for avionics and engines. More accurate assessments of the effectiveness of the proposed methods and tools will be carried out at subsequent stages of the work.

Bibliography:

1. GOST R 53394-2017 Integrated logistics support. Terms and definitions. – Moscow: Standartinform, 2018.
2. GOST R 54089-2018 Integrated logistics support. Electronic logbook of the product. Fundamentals and general requirements. – Moscow: Standartinform, 2018.
3. GOST R 54088-2017 Integrated logistics support. Operational and repair documentation in the form of interactive electronic technical manuals. Fundamentals and general requirements. – Moscow: Standartinform, 2018.

3.20. Кудрявцев М.С.

Организационно-экономический механизм отбора смежников промышленной кооперации конкурентными способами

(АО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца», г. Москва)

Организационно-экономический механизм отбора смежников на основе конкурентных способов закупки является важным инструментом для формирования головным наукоемким промышленным предприятием эффективной кооперации для выполнения НИОКР по созданию сложной высокотехнологичной продукции.

В целях повышения объективности отбора разработчиков высокотехнологичной промышленной продукции предлагается традиционную методологию конкурентных закупок дополнить

внедрением критериев исполнения. Критерии исполнения - это сформированные экспертами и описанные в конкурсной документации в виде семантико-числовых шкал правила оценки соответствия заявляемых конкурсантом показателей требованиям заказчика. Для формирования критериев исполнения в конкурсной документации применяется методический подход из теории нечетких множеств Л. Заде [1].

Разработанный организационно-экономический механизм позволяет исключить со стороны конкурсной комиссии лоббирование и субъективизм, так как оценка рейтинга претендента состоит исключительно в проверке достоверности представленной им в ходе конкурентной процедуры информации [2].

Экономический эффект от внедрения на наукоемком предприятии ракетно-космической промышленности предложенного организационно-экономического механизма рассчитан по методике, изложенной в [3], и заключается в снижении затрат на выполнение НИОКР по сравнению с традиционным подходом на 1,5-2% от общего объема конкурентных закупок.

Литература:

1. Kudryavtsev M.S. Methodical approach to assessment of the level of industrial enterprise competitiveness on the basis of the mathematical apparatus of the indistinct sets theory//AIP Conference Proceedings. 2021/ Vol.2412, N1.DOI 10.1063/5.0076499.

2. Кудрявцев М.С. Организационно-экономический механизм конкурсного формирования смежнической кооперации разработчиков высокотехнологичной промышленной продукции в России // Научное обозрение: теория и практика. Т.10. Вып. 10, 2020, с.2424-2441.

3. Кудрявцев М.С. Методика оценки экономической эффективности закупочной деятельности промышленного предприятия // Системный анализ, управление и навигация: 24-я Международная конференция, Евпатория, 2019 – с. 125-126.

3.21. Рассказова В.А.

Модели параллельной обработки данных в задачах планирования потокового производства и цеховой логистики

(МАИ, г. Москва)

В системах типа потокового производства можно выделить следующие классы задач планирования и оптимизации: прогнозное графиковое, оперативное графиковое и логистика подвижного состава. Задачи каждого из перечисленных классов могут быть адекватно описаны дискретными моделями математического программирования, что позволяет применить широкий арсенал математических теорий, подходов и методов для их эффективного исследования и решения. Важно отметить, что системы ограничений прикладного происхождения часто оказываются несовместными по ряду естественных причин. В этой связи особую актуальность приобретает направление разработки и реализации методики формирования максимальных совместных подсистем в задачах с приоритетами ограничений. При этом перспективным представляется подход рекомендательного характера, позволяющий формировать решения без существенной потери качества в части функционала задачи и согласно установленным приоритетам ограничений.

На этапе решения задачи оперативного графикового потокового производства высшим приоритетом обладают ограничения, связанные с нормативной длительностью обработки каждого требования на соответствующих машинах. На этапе решения задачи цеховой логистики ограничения, связанные с перемещением единиц подвижного состава, обладают более высоким приоритетом по сравнению с ограничениями на химический состав каждого требования (другими словами, регулярный оборот единиц подвижного состава между отделениями цеха имеет более высокий приоритет, чем химический состав конечной продукции в задаче смешения). Таким образом, возникает задача разработки оригинальной методики формирования максимальных совместных подсистем в моделях целочисленного линейного программирования с приоритетами ограничений.

Для этих целей предлагается разработка вспомогательных моделей, в которой модификации подвергаются целевая функция

и левая часть ограничений. Такой подход влечет решение исходной задачи даже в случае ее изначальной несовместности, где нарушение ограничений имеет приоритетный характер и таким образом не вносит существенного вклада в качество функционала. При этом вмешательство исключительно в левую часть ограничений кроме того, что позволяет преодолевать тупиковые ситуации самого процесса решения задачи, ориентировано также и на выявление противоречий в исходных данных и нормативно-справочной информации. Следует отметить, что последнее обстоятельство оказывается практически не разрешимым в ручном режиме.

Models of parallel data processing in problems of flow production planning and shop logistics

Rasskazova V. A. (Moscow Aviation Institute)

In flow production systems, the following classes of planning and optimization problems can be distinguished: predictive scheduling, operational scheduling, and mobile fleet logistics. The problems of each of these classes can be adequately described by discrete models of mathematical programming, which allows for a wide range of mathematical theories, approaches, and methods to be applied for their effective research and solution. It is important to note that application-specific constraint systems often turn out to be infeasible for several natural reasons. In this regard, the development and implementation of a methodology for forming maximum feasible subsystems in priority constraint problems becomes particularly relevant. In this context, a recommendation-based approach that allows for forming solutions without significant loss of quality in terms of the problem's functionality and in accordance with the established priority constraints is promising.

During the operational scheduling stage of flow production, constraints related to the standard processing time of each requirement on the respective machines have the highest priority. During the shop floor logistics problem solving stage, constraints related to the movement of mobile fleet units have a higher priority compared to constraints on the chemical composition of each requirement (in other words, the regular turnover of mobile fleet units between departments in the shop has a higher priority than the chemical composition of the final product in the mixing problem). Thus, the problem arises to

develop an original methodology for forming maximum feasible subsystems in models of integer linear programming with priority constraints.

To achieve these goals, the development of auxiliary models is proposed, in which modifications are made to the objective function and the left-hand side of constraints. Such an approach leads to the solution of the original problem even in cases of its initial infeasibility, where priority violations of constraints do not significantly affect the quality of the functional. In addition to overcoming deadlock situations in the problem-solving process, intervention in the left-hand side of constraints is also aimed at identifying contradictions in the source data and normative-reference information. It should be noted that the latter circumstance is practically unsolvable in manual mode.

3.22. Тришин А.А.

Использование различных диспетчерских клиентов (пультов), как способ популяризации авиационной отрасли в России (МАИ, г. Москва)

В настоящее время авиапромышленность находится на стадии подъёма. В условиях роста интенсивности воздушного движения (ВД) возникает задача обеспечения безопасности и эффективности выполнения полетов. Всё это возможно реализовать на различных платформах, как отечественного, так и зарубежного производства. На данный момент не только специалисты могут моделировать движение воздушных судов, но и обычные пользователи могут оценить загруженность аэропортов, а также самостоятельно изучить их структуру.

В докладе рассматриваются различные диспетчерские клиенты, находящиеся в открытом доступе (IVAC, Aurora). Благодаря возможностям данных программ, любой пользователь ПК имеет возможность поработать с реальными аэропортами, их схемами, погрузиться в работу авиадиспетчера. В дальнейшем у них появляется мотивация пойти в авиапромышленность. В таком случае по профессии будут работать более заинтересованные люди, что положительно скажется на качествах специалиста.

В докладе представлены устройства и практическое применение клиентов, а также теоретическая база, на основе которых эти клиенты функционируют.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,
УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ**

**Баллистика,
динамика полета и
управление**



Для заметок

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on its right side, suggesting it's resting on a surface.

4.1. Челноков Ю.Н., Молоденков А.В., Логинов М.Ю.
Аналитическое квазиоптимальное бикватернионное
решение задачи программного управления
пространственным движением космического аппарата
(ИПТМУ РАН, г. Саратов)

В докладе изложено полученное нами аналитическое решение задачи построения квазиоптимального программного управления пространственным движением космического аппарата (КА) произвольной динамической конфигурации в инерциальной системе координат с использованием дуальных параметров Эйлера (Родрига–Гамильтона) и бикватернионов Клиффорда (дуальных кватернионов).

Для решения задачи использована предложенная нами новая модель пространственного движения КА, состоящая из дифференциальных уравнений для дуальных параметров Эйлера и дуальных скоростей КА, а также из динамических алгебраических соотношений для формирования векторов управляющей силы и управляющего момента. Дуальные параметры Эйлера характеризуют ориентацию и местоположение КА в инерциальной системе координат. Они являются компонентами бикватерниона Клиффорда конечного перемещения КА. Дуальные скорости КА являются комплексными композициями проекций угловой и линейной скоростей КА. Используемая для описания пространственного движения комплексность Клиффорда обладает свойством равенства нулю её квадрата.

Краевые условия по угловому и линейному положениям КА в инерциальном пространстве и по его угловой и линейной скоростям произвольны, дуальные управления (дуальные композиции проекций на объектовые координатные оси векторов углового и линейного ускорений) не ограничены. Время управления зафиксировано. Минимизируется дуальный интегральный квадратичный функционал качества в отношении взаимосвязанного управления угловым (вращательным) и поступательным (орбитальным) движениями КА, т.е. решена задача программного пространственного перемещения (маневрирования) КА, оптимального в смысле минимума энергетических затрат на управление КА.

Явное аналитическое решение получено в классе обобщенных дуальных конических движений с использованием метода решения обратных задач динамики и принципа максимума Понтрягина. Найдены оптимальные параметры обобщенного винтового конического движения КА и соответствующие им программные оптимальные угловые и линейные скорости и ускорения КА.

Решение построено с использованием принципа перенесения Котельникова-Штуди. Получен квазиоптимальный бикватернионный алгоритм программного управления пространственным движением КА. Этот алгоритм построен на основе обобщения ранее полученного Сапунковым и Молоденковым приближенного аналитического кватернионного решения задачи оптимального в смысле минимума энергетических затрат разворота КА при произвольных граничных условиях по угловому положению и угловой скорости КА.

Проведенное моделирование квазиоптимального пространственного маневрирования КА в инерциальной системе координат с помощью предложенных бикватернионных моделей и дуальных законов управления показали эффективность предложенного метода управления пространственным движением КА.

Analytical quasi-optimal biquaternion solution of the problem of program control of spacecraft spatial motion

Chelnokov Yu.N., Molodenkov A.V., Loginov M.Yu. (IPMC RAS, Saratov, Russia)

The paper presents our analytical solution to the problem of constructing a quasi-optimal program control of the spacecraft (SC) spatial motion of an arbitrary dynamic configuration in an inertial coordinate system using dual Euler (Rodrigues–Hamilton) parameters and Clifford biquaternions (dual quaternions).

To solve the problem, we used a new model of spacecraft motion proposed by us, which consists of differential equations for the dual Euler parameters and dual velocities of the spacecraft, as well as dynamic algebraic relations for the formation of the vectors of the control force and of the control moment. The dual Euler parameters characterize the orientation and location of the spacecraft in the inertial

coordinate system. They are components of the Clifford biquaternion of the finite displacement of the spacecraft. The dual velocities of the spacecraft are complex compositions of the projections of the angular and linear velocities of the spacecraft. The Clifford complexity used to describe spatial motion has the property that its square is equal to zero.

The boundary conditions for the angular and linear positions of the spacecraft in inertial space and for its angular and linear velocities are arbitrary, dual controls (dual compositions of projections of the angular and linear acceleration vectors onto the object coordinate axes) are not limited. The time of control is fixed. The dual integral quadratic performance functional is minimized with respect to the interconnected control of the angular (rotational) and translational (orbital) movements of the spacecraft, i.e. the problem of program spatial movement (maneuvering) of the spacecraft is solved, which is optimal in the sense of the minimum energy costs for controlling the spacecraft.

An explicit analytical solution is obtained in the class of generalized dual conic motions using the method of solving inverse problems of dynamics and the Pontryagin maximum principle. The optimal parameters of the generalized helical conical motion of the spacecraft and the corresponding programmed optimal angular and linear velocities and accelerations of the spacecraft are found.

The solution is constructed using the Kotelnikov-Study transfer principle. A quasi-optimal biquaternion algorithm for program control of spacecraft motion has been obtained. This algorithm is based on a generalization of the approximate analytical solution previously obtained by Sapunkov and Molodenkov for the quaternion problem of optimal (in the sense of minimum energy costs) turn of the spacecraft under arbitrary boundary conditions in terms of the angular position and angular velocity of the spacecraft.

The simulation of the quasi-optimal spacecraft maneuvering in the inertial coordinate system using the proposed biquaternion models and dual control laws showed the effectiveness of the proposed method for controlling the spacecraft motion.

4.2. Селин А.И., Туркин И.К.

Последовательность формирования облика беспилотного летательного аппарата работающего в составе группы при выполнении операций
(МАИ, г. Москва)

Перспективным направлением в тактике применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) специального назначения является их объединение в группы или в рой.

В наши дни вооруженные силы большинства государств ведут разработки и испытания в области группового применения БПЛА. Настоящая тактика позволит эффективно использовать большое количество различных типов беспилотных летательных аппаратов совместно. Разрабатываемая тактика считается перспективной и в ближайшее время позволит эффективно получать информацию и проводить операции с минимальными материальными затратами.

Постановке задачи формирования облика как концептуальной характеристики аппарата предшествует анализ сценариев применения группы БПЛА. В качестве основного сценария применения рассмотрено поражение площадных наземных и надводных целей – таких как аэродромы, места расположения ЗРК, живая сила противника, различные корабли, в частности взлетно-посадочные палубы авианосцев [1].

В качестве средств транспортирования рассмотрим сухопутные и водные носители. Предельные габаритные размеры определяем исходя из количества аппаратов и габаритов средств транспортирования.

Определив основные требования к данному типу аппаратов перейдем к формированию внешнего облика изделия.

Задача проектирования ЛА, работающего в составе группы, как и любого ЛА, реализующего аэродинамический принцип полета, сводится к определению проектных параметров, которые характеризуют любой проектируемый самолет как летательный аппарат тяжелее воздуха, способный летать в определенном диапазоне высот и скоростей, совершать маневры. Основные из этих соотношений: уравнение весового баланса, уравнение энергетического баланса и уравнение устойчивости и балансировки ЛА. Условие физической реализуемости самолета есть удовлетворение вышеприведенным требованиям с учетом

накладываемых ограничений как на параметры, так и на характеристики [2].

В связи с особенностями применения данных аппаратов имеются жесткие ограничения по транспортным габаритам, времени развертывания, способах навигации и стоимости. Вследствие этих особенностей вышеупомянутые уравнения в традиционном виде не применимы для решения задачи проектирования рассматриваемого типа ЛА и требуют изменения.

На стадиях эскизного и технического проектов при проектировании аппаратов необходимо провести расчетное и экспериментальное подтверждение возможности пуска из заданного транспортно-пускового контейнера, провести оценку устойчивости и управляемости изделия, разработать модель динамики движения аппарата. Получение параметры динамики используются для проектирования системы управления аппаратом.

Литература:

1. Селин А.И., Туркин И.К. Проблемы формирования облика беспилотного летательного аппарата работающего в составе группы при выполнении операций / Системный анализ и управление. XXV международная научная конференция: тезисы докладов. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), АНО ДПО «Космос - образование». Москва, 2021. – С. 112-115.

2. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015.

The sequence of formation of the appearance of an unmanned aerial vehicle operating as part of a group when performing operations.

Selin A.I., Turkin I.K. (Moscow Aviation Institute)

A promising direction in the tactics of using special-purpose unmanned aerial vehicles (UAVs) is their combination into groups or «swarms».

Nowadays, the armed forces of most states develop and field test the use of UAVs groups (UAV Swarm). This tactic will make it possible to effectively use a large number of different types of unmanned aerial vehicles together. Such tactics is considered promising and in the near

future will make it possible to effectively receive information and conduct operations with minimal material cost.

The formulation of the problem of the shaping as a conceptual characteristic of the apparatus is preceded by an analysis of the scenarios for the use of UAVs groups. The destruction of areal ground and naval targets is considered as the main application scenario - airfields, air defense missile systems, enemy manpower, ships and the landing decks of aircraft carriers in particular (1).

As means of transportation, consider land and water carriers. The maximum overall dimensions are determined based on the number of devices and the dimensions of the means of transportation.

Having determined the basic requirements for this type of apparatus, let's move on to the formation of the external appearance of the product.

The task of designing an aircraft operating as part of a group, as well as any aircraft that implements the aerodynamic principle of flight, is reduced to determining the design parameters that characterize any designed aircraft as an aircraft heavier than air, capable of flying in a certain range of altitudes and speeds, performing maneuvers. The main of these relationships are: the weight balance equation, the energy balance equation, and the aircraft stability and balancing equation. The condition for the physical feasibility of an aircraft is the satisfaction of the above requirements, taking into account the imposed restrictions on both parameters and characteristics [2].

Due to the peculiarities of the use of these devices, there are severe restrictions on transport dimensions, deployment time, navigation methods and cost. Due to these features, the above-mentioned equations in the traditional form are not applicable to solving the problem of designing the type of aircraft under consideration and require changes.

At the stages of draft and technical designs, when designing vehicles, it is necessary to carry out computational and experimental confirmation of the possibility of launching from a given transport and launch container, assess the stability and controllability of the product, and develop a model of the vehicle's motion dynamics. Obtaining dynamics parameters are used to design the vehicle control system.

Bibliography:

1. Selin A.I., Turkin I.K. Problems of forming the appearance of an unmanned aerial vehicle operating as part of a group when performing operations / System analysis and management. XXV international

scientific conference: abstracts. Moscow Aviation Institute (National Research University), ANO DPO "Space - Education". Moscow, 2021. - S. 112-115.

2. Small unmanned aerial vehicles: theory and practice. Randal W. Beard, Timothy W. McLain. Moscow: TECHNOSPHERE, 2015.

4.3. Юн Сон Ук⁽¹⁾, Петухов В.Г.⁽²⁾

Сквозная оптимизация межпланетных траекторий космических аппаратов с конечной тягой

(1-МАИ, 2-НИИ ПМЭ МАИ, г. Москва)

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00329, <https://rscf.ru/project/22-19-00329/>.*

В данной работе рассматривается метод сквозной оптимизации межпланетных траекторий перелета космического аппарата (КА) с двигателем конечной тяги с околоземной орбиты на орбиты вокруг других планет в рамках эфемеридной задачи четырёх тел, включающей: Солнце, Землю, планету назначения и КА. Традиционно исследование межпланетных траекторий КА с конечной тягой состоит из оптимизации гелиоцентрической траектории между двумя планетами в ньютоновском гравитационном поле и расчёте околопланетных участков. В рамках метода грависфер нулевой протяжённости при отлёте от Земли с конечной тягой используется раскрутка до достижения параболической скорости. У планеты назначения рассматривается аналогичная задача скрутки. При этом точная стыковка околопланетных участков с гелиоцентрическим не предполагается, и начальные векторы положения и скорости КА на гелиоцентрической траектории совпадают с векторами положения и скорости Земли в момент отлёта, а конечные – с вектора положения и скорости планеты назначения в момент прибытия. Такая схема расчета оказалась достаточно эффективной, однако, она не позволяет получить непрерывную траекторию движения КА от начала и до конца, и, очевидно, имеет значимую методическую погрешность.

В предлагаемой методе сначала рассматривается одна из возможных схем перелета межпланетных КА с использованием коллинеарных точек либрации в качестве узлов стыковки гелиоцентрического и планетоцентрических участков траектории, аналогично [1]. Для их получения предполагается

пролет одной из коллинеарных точек либрации L1 или L2 системы Солнце-планета. Для сквозной оптимизации траектории перелета между начальной орбитой вокруг Земли и конечной орбитой вокруг планеты назначения используется метод, аналогичный представленному в [2], который использует траекторию со стыковкой в точке либрации в качестве начального приближения для траектории с оптимальной точкой стыковки отдельных участков. Рассматривается задача минимизации затрат топлива для межпланетных траекторий перелета с ограниченной тягой. Для оптимизации траекторий используется непрямой подход, основанный на использовании принципа максимума Понтрягина и метода продолжения по параметру. Приводятся численные примеры траекторий перелета с промежуточной орбиты в окрестности Земли на орбиты Марса и Юпитера.

Литература

1. Yoon S.W., Petukhov V.G. Minimum-fuel low-thrust trajectories to the Moon, *Acta Astronautica*, available online 4 May 2023, 15 pp.

2. Petukhov V.G., Yoon S.W. End-to-End Optimization of Power-Limited Earth–Moon Trajectories. *Aerospace*, 10 (3), 231, 1–22 (2023).

4.4. Александров А.А.^(1,2), Русальчук А.А.⁽¹⁾, Морозов В.В.⁽¹⁾

Разработка бортовых алгоритмов для повышения помехоустойчивости ИСНС различного уровня интегрирования

(1 – АО "Концерн "Гранит-Электрон", г. Санкт-Петербург, Россия,

2 – БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург)

Рассматривается задача автономного приведения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) к априорно известной точке назначения. В режиме инерциального приведения требуется обеспечение высокой точности определения навигационных параметров в системе управления БПЛА при работе бортовых интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем (ИИСНС) в условиях внешней помеховой обстановки, в том числе при малом количестве видимых/используемых навигационных космических аппаратов.

Рассматривается влияние действующих помех на работу слабосвязанных, сильносвязанных, тесносвязанных и глубокоинтегрированных инерциально-спутниковых

навигационных систем (ГиИНС), входящих в бортовую аппаратуру системы управления БПЛА. Рассматриваются помехоустойчивые алгоритмы совместной обработки (комплексирования) показаний спутниковых навигационных систем и инерциальной навигационной системы ЛА для различных инвариантных схем комплексной обработки данных, вопросы построения бортового навигационного фильтра для работы с ГиИНС.

Эффективность предлагаемых алгоритмов защиты от помех подтверждена математическим моделированием. Показано, что рассмотренные алгоритмы позволяют повысить вероятностные характеристики точности приведения БПЛА. Представленные принципы организации распределённой в вычислительном плане ГиИНС позволяют также построить бортовой линейный навигационный фильтр, инвариантный к движению БПЛА в условиях влияния на систему управления различных видов помех.

Development of On-board Algorithms to Improve the Noise Immunity of Inertial-Satellite Navigation Systems of Different Integration Levels

Aleksandrov A.A.^(1, 2), Rusalchuk A.A.⁽¹⁾, Morozov V.V.⁽¹⁾ (1 – JSC "Concern "Granit-Electron", Saint-Petersburg, Russia, 2 – BSTU "Voenmeh" named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg)

This publication discusses the problem of autonomous navigation of unmanned aerial vehicles to a predetermined destination point. Inertial guidance mode requires high accuracy of navigation parameter determination in the control system of an unmanned aerial vehicle during operation of on-board integrated inertial-satellite navigation systems under external interference conditions, including a small number of visible/usable navigation spacecraft.

Influence of external interference on the performance of weakly coupled, strongly coupled, closely coupled and deeply integrated inertial-satellite navigation systems included in the onboard equipment of an unmanned aircraft control system is considered. Noise immunity algorithms for joint processing (integration) of satellite navigation system and aircraft inertial navigation system readings for different invariant schemes of integrated data processing are considered as well

as the problems of building an onboard navigation filter for operation with deeply integrated inertial-satellite navigation systems.

The effectiveness of the proposed anti-interference algorithms is confirmed by mathematical modelling. It is demonstrated that the considered algorithms allow increasing probabilistic accuracy characteristics of an unmanned aerial vehicle. The presented principles of construction of computationally distributed deep-integrated inertial-satellite navigation systems also enable construction of an onboard linear navigation filter invariant to the influence of various types of interference on the control system.

4.5. Быков Н.В., Федулов В.А.

Имитационная модель системы обнаружения, локализации и нейтрализации девиантных летательных беспилотных транспортных средств в условиях умного города

(РУТ(МИИТ), МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-29-06090 мк)*

В рамках развития концепции умных городов беспилотные транспортные средства (БТС), в частности летательные, получили широкое распространение. Планируется использовать их для мониторинга транспортных потоков, доставки товаров и услуг, обеспечения безопасности и других функций. Можно смело утверждать, что в ближайшем будущем они продолжат распространяться, улучшаясь как по производительности, так и по функциональности. Создавать всё более компактные и дешевые беспилотные транспортные платформы позволяет прогресс в области разработки источников питания, миниатюризации электроники и авионики, материалов и методологии проектирования. Всё это расширяет возможности применения БТС в различных областях, но вместе с этим увеличивает риск их альтернативного использования в преступных и террористических целях, в частности, в условиях города (для несанкционированного получения информации, контрабанды, промышленного шпионажа и пр.). В этих случаях обнаружение, идентификация и обезвреживание таких девиантных БТС, перемещающихся вблизи ключевых объектов инфраструктуры, становится критически важными. Задача защиты от БТС, в

частности, малогабаритных, является сложной проблемой, поскольку речь идет не только об устранении БТС, но и о немедленном обнаружении и идентификации БТС, его контролируемом и предсказуемом выведении для обеспечения безопасности объектов инфраструктуры и социальных объектов, и минимизации побочного ущерба.

Разработана имитационная модель (ИМ), с помощью которой можно моделировать процесс противодействия группе БТС. Модель системы обнаружения, локализации и противодействия состоит из моделей подсистем обнаружения и локализации целей и подсистемы нейтрализации. Модель полета БТС реализована на основе кривых Безье. Станции обнаружения и нейтрализации могут быть стационарными, а могут быть подвижными. ИМ позволяет также учитывать карту местности, вводя критические зоны, в которые не должно упасть БТС. ИМ позволяет решать задачу оценки эффективности той или иной системы обнаружения, локализации и нейтрализации девиантных БТС в условиях умного города.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-29-06090 мк).

Simulation model of a system for detecting, localizing and neutralizing deviant aerial unmanned vehicles in a smart city

Bykov N.V., Fedulov V.A. (RUT (MIIT), BMSTU, Moscow, Russia)

As part of the development of the concept of smart cities, unmanned vehicles (UAVs), in particular aircraft, have become widespread. It is planned to use them for monitoring traffic flows, delivery of goods and services, security and other functions. We can safely say that in the near future they will continue to spread, improving both in performance and functionality. Progress in the development of power sources, miniaturization of electronics and avionics, materials and design methodology allows one to create ever more compact and cheap unmanned transport platforms. All this expands the possibilities of using UAVs in various areas, but at the same time increases the risk of their alternative use for criminal and terrorist purposes, in particular, in the city (for unauthorized obtaining of information, smuggling, industrial espionage, etc.). In these cases, the detection, identification

and neutralization of such deviant UAVs moving near key infrastructure becomes critical. The task of protecting against UAVs, in particular small-sized ones, is a complex problem, since it is not only about eliminating UAV, but also about the immediate detection and identification of UAV, its controlled and predictable neutralization to ensure the safety of infrastructure and social facilities, and minimize collateral damage.

A simulation model (SM) has been developed, with the help of which it is possible to simulate the process of counteracting a UAVs group. The model of the system for detecting, localizing and countering consists of models of subsystems for detecting and localizing targets and a neutralization subsystem. The UAV flight model is implemented on the basis of Bezier curves. Detection and neutralization stations can be stationary or mobile. SM also allows one to take into account the map of the area, introducing critical zones into which the UAV should not fall. SM allows solving the problem of evaluating the effectiveness of a particular system for detecting, localizing and neutralizing of deviant UAVs in a smart city.

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 19-29-06090 mk).

4.6. Воронцов В.А., Хмель Д.С.

Управление высотой всплытия аэростата при нагреве оболочки днем

(МАИ, г. Москва, АО «НПО Лавочкина» г. Химки)

При плавании на освещенной стороне Венеры аэростаты «Вега» подтвердили стабильный дрейф на высоте 54 км с использованием прочного баллона не меняющего объем при нагреве и увеличении давления в нем газа днем [1]. Впервые было продемонстрировано поддержание высоты при радиационном нагреве и воздействии вертикального ветра с использованием ограничения объема несущего газа в оболочке с избыточным давлением на другой планете Венеры [2]. Перед аэростатами Венеры стоит задача длительного плавания на различных высотах в диапазоне от 53 до 60 км для проведения исследований, причем значительный интерес представляет расширение диапазона доступных исследования высот атмосферы [3]. Использование комплекса средств научной аппаратуры размещенных на

аэростате позволит в течении длительного времени исследовать аэрозольные частицы и состав облачного слоя позволит получить большой объем научных данных с различных высот [4]. Для этих целей необходимо управлять высотой и широтой плавания аэростата. Аналогичные задачи выполняют в настоящее время свободные аэростаты в атмосфере Земли, которые используют изменение высоты для перехода из одного течения воздуха в другое.

Известно, что изменение высоты дрейфа аэростат возможно с использованием регулирования объема несущего газа, в этом случае для изменения объема газа в оболочке могут использоваться следующие типы оболочек аэростатов:

- тандем из баллона избыточного давления (оболочки сверхдавления) и невыполненной полностью оболочки с низким давлением переменного объема;
- баллон избыточного давления с использованием стягивания для изменения объема;
- баллон избыточного давления с баллонетом заполненным газом атмосферы регулируемого объема.

Поддержание и изменение высоты плавания аэростата с невыполненной оболочкой с несущим газом производится с использованием дополнительного балансирующего баллона, заполненного газом атмосферы при изменении количества газа в нем [5].

Для поддержания и регулирования высоты плавания необходимо учитывать то, что радиационный нагрев оболочек днем приводит к нагреву газа и увеличению давления газа или объема газа в оболочках с возрастанием высоты плавания аэростата в зависимости от того какой из перечисленных типов регулирования объема газа и высоты использует аэростат [6,7]. Например, соотношение между количеством газа в невыполненной оболочке и количеством газа в баллоне фиксированного объема определяет изменение высоты плавания аэростата и величину избытка давления газа в его оболочках и может обеспечить существенное изменение высоты плавания аэростата в дневной период за счет нагрева и расширения газа в невыполненной полностью оболочке. Количество газа в прочной оболочке определяет изменение высоты плавания аэростата

днем. Поэтому для увеличения высоты плавания в дневной период количество газа в наполненной оболочке должно быть уменьшено. Это может быть обеспечено при заправке оболочек аэростата газом. В течении плавания возможно увеличить высоту всплытия аэростата днем за счет выпуска газа атмосферы из выполненной прочной оболочки или за счет выпуска гелия из выполненной прочной оболочки с гелием в невыполненную оболочку с гелием.

Необходимо учитывать то, что влияние нагрева днем зависит от широты дрейфа, поскольку в северных или южных широтах интенсивность радиационного нагрева примерно вдвое меньше чем в экваториальной части. Кроме того, на высоте дрейфа 50 – 60 км в атмосфере Венеры [8], а также в тропосфере Земли температура в высоких широтах от 50 до 70 снижена по отношению к температуре воздуха на экваториальных широтах. Поэтому при плавании аэростатов на освещенной стороне планеты в более высоких широтах в меньшей степени возрастает нагрев оболочки при прохождении подсолнечной точки.

Литература:

1. В. А. Воронцов, В. А. Дерюгин, В. П. Карягин, и др. Метод исследования планеты Венера с помощью плавающих аэростатных станций. Математическая модель // Космические исследования 1988 г., том 26, вып.3, стр. 430 - 433.

2. Р. А. Андреев, В. И. Алтунин, Н. А. Арманд, и др. Аэростатный эксперимент проекта «Вега» Средняя скорость ветра в атмосфере Венеры по доплеровским измерениям аэростатных станций. Письма в АЖ, 1986 г. т. 12, № 1

3. Предложения по расширению программы исследования Венеры с учетом опыта проектных разработок НПО Лавочкина. В.А. Воронцов, А.М. Крайнов, М.Б. Мартынов, К.М. Пичхадзе, В.В. Хартов. Труды МАИ. № 52.

4. J. J. Petkowski, S. Seager, C. E. Carr Venus Life Finder Mission Study. A suite of mission concepts to explore Venus to study habitability and to potentially find life. Massachusetts Institute of Technology, 2021. MDPI Aerospace 2022, 9 (7), 385 (10.3390/aerospace9070385) (<https://venuscloudlife.com/venus-life-finder-mission-study/>)

5. Jeffery L. Hall, Jonathan M. Cameron, Michael T. Pauken, Jacob S. Izraelevitz, Mitchell W. Altitude-Controlled Light Gas Balloons for

Venus and Titan Exploration Dominguez,5 Kristopher T. Wehage Jet Propulsion

6. Jeffery L., Hall I., Jonathan M., Cameron M., Pauken T., Jacob S., Mitchell W., Kristopher T. Altitude-Controlled Light Gas Balloons for Venus and Titan Exploration. JPL, AIAA AVIATION Forum 17- 21 June 2019, US, Dallas, Texas

7. Franzke, A.M., Modl, C.M., Nesbit, T.J., et al. Buoyant Venus descender: design of an atmospheric probe for scientific study of Venus, AIAA Balloon Systems Conf., Williamsburg, VA 2007, in: AIAA-2007-2634

8. Л. В. Засова, В. И. Мороз, В. М. Линкин, И. В. Хатунцев, Б. Майорова Строение атмосферы Венеры от поверхности до 100 км ИКИ РАН, г. Москва 2006 г.

4.7. Воронцов В.А., Любезный Б.В.

Проектные решения для атмосферных планетных зондов

(МАИ, г. Москва, АО «НПО Лавочкина» г. Химки)

В 1985 году в ходе осуществления проекта «ВЕГА» впервые в мировой практике был осуществлён запуск зондов аэростатного типа в атмосферу Венеры. Аэростаты полностью выполнили запланированную программу полёта, получив информацию о глобальной циркуляции атмосферы, а также ее составе, процессах и явлениях, происходящих в ней. В настоящее время учеными проявлена заинтересованность в более глубоких исследованиях Венеры и сформирован комплекс научных задач, которые планируется реализовать в миссии проекта «Венера-Д». Для решения поставленных задач, необходимо длительное исследование атмосферы планеты с использованием современных методов и научной аппаратуры.

В качестве технического средства для проведения длительных исследований атмосферы целесообразно использовать атмосферный зонд «Ветролет». Срок активного существования такого устройства около 1 месяца.

Атмосферный зонд состоит из двух аэродинамических поверхностей – планирующего и тормозного парашюта, соединенных между собой длинным тросом. Функционирование «Ветролета» в атмосфере осуществляется за счет естественных

условий, а именно – наличия постоянного сильного ветра и градиента ветра, меняющегося по высоте.

В докладе рассмотрены проектные решения для атмосферных планетных зондов, а также приведены оценки основных исследуемых параметров.

Литература:

1. Воронцов В.А., Малышев В.В., Пичхадзе К.М. Системное проектирование космических десантных аппаратов // Изд-во МАИ 2021. 256 с.

2. Соболев И.А. Анализ проектных характеристик атмосферных зондов змейкового типа (ветролётов) для изучения атмосферы Венеры // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4. С. 108-115

Design solutions for atmospheric planetary probes

V.A. Vorontsov V.V., Lubeznyi B.V. (Moscow aviation institute, Lavochkin Association JSC, Russia)

In 1985 during VEGA project implementation the launch of balloon type probes in Venus atmosphere was performed for the first time in the world practice. The balloons completed the planned flight program and received data on the global circulation of the atmosphere, as well as its composition, processes and phenomena occurring in it. At present, scientists have shown interest in deeper studies of Venus and have elaborated a range of scientific tasks that are planned to be implemented in the mission of the Venera-D project. To solve the tasks range, it is necessary to study the planet's atmosphere for a long time using modern methods and scientific equipment.

As a technical mean for carrying out long-term studies of the atmosphere, it is reasonable to use Windship atmospheric probes. Active lifetime of this equipment is about 1 month.

Atmospheric probe is composed of two aerodynamic surfaces – gliding and braking parachutes, connected with each other by a long rope. Windship functioning in the atmosphere is performed due to environment conditions, namely the presence of a strong wind and a wind gradient that varies in height.

The report examines design solutions for atmospheric planetary probes as well as assessments of principal studied parameters are provided.

Bibliography:

1. Vorontsov V.A., Malyshev V.V., Pichkhadze K.M. Sistemnoe proektirovanie kosmicheskikh desantnykh apparatov [System design of space descent vehicles] // MAI Publ., 2021. 256p.

2. Sobolev I.A. Analiz proektnykh kharakteristik atmosferykh zondov zmejkovogo tipa (vetrolyotov) dlya izucheniya atmosfery Venery [Analysis of project characteristics of snake-type atmospheric probes (windships) for Venus atmosphere study] // Vestnik NPO imeni S.A. Lavochkina. 2017. № 4. P. 108-115

4.8. Воронцов В.А., Киспе Мендоза М.В.

Анализ возмущающих воздействий при вводе в действие аэростата в атмосфере Венеры (МАИ, г. Москва)

Движение спускаемого аппарата весьма непростая задача зависящая от разных возмущающих факторов

Основные возмущения, действующие в процессе спуска спускаемого аппарата, можно разбить на:

- возмущения по начальным условиям входа: ошибки определения угла входа, скорости входа, координат начальной точки, времени входа и др.;
- возмущения, вызванные неточным знанием аэродинамических и конструктивных параметров: аэродинамических коэффициентов и площади миделевого сечения, массы и т.д.;
- возмущения, возникающие в результате неточного знания характеристик атмосферы, в первую очередь зависимости плотности от высоты, турбулентности атмосферы и др.;
- приборные ошибки: погрешности чувствительных элементов, средств обработки информации, исполнительных органов и т.п.;
- возмущение на участке основного аэродинамического торможения;
- возмущение на участке торможения под парашютом.

В докладе анализируется процесс ввода аэростата в действие в атмосфере Венеры, в номинальных и экстремальных условиях.

Наиболее употребительными методами приближенной теоретико-вероятностной оценки точности работы нелинейных динамических систем являются метод статистических испытаний

(метод Монте-Карло) и метод эквивалентных возмущений (метод Доступова).

Наименее трудоёмким является метод эквивалентных возмущений, нашедший широкое практическое применение в технике для приближенного вероятностного анализа состояния систем:

- возмущение на участке отделения верхнего полусфера;
- возмущение на участке ввода в действие АЗ: - высоты окончания наполнения оболочки (начала расхождения ПАС и системой наполнения), коэффициента сопротивления аэростата, коэффициента сопротивления парашюта, высоты поверхности, модели атмосферы, вертикального градиента скорости ветра.

Большинство возмущений носит случайный характер с нормальным законом распределения. Для оценки отклонений были проведены соответствующие расчеты траекторий при различных возмущениях с вероятностной оценкой по методу Доступова. Из всех возмущений учитывались те, которые дают наибольшее отклонение конечных параметров

При формировании математических моделей принимались допущения, предельно упрощающие математические описания с целью выделения наиболее значимых для данных исследований факторов.

В качестве рабочего инструмента использован разработанный программно-вычислительный комплекс, посредством которого осуществляется последовательность анализа возмущающих воздействий при вводе в действие аэростата.

Литература:

1. Воронцов В.А. Проектирование средств десантирования и дрейфа в атмосферах планет и их спутников. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2011. - 71 с.

2. Воронцов В.А. Проектирование аэростатных зондов для исследования планет солнечной системы: Учебное пособие / Под ред. К.М. Пичхадзе. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. – 88 с.: ил.

3. Торрес Санчес К.Х., Воронцов В.А. Оценка проектных параметров малого спускаемого аппарата с учётом неопределенности исходных данных. – Труды МАИ. 2018. № 101

4. А.В. Косенкова, В.Е. Миненко, С.Б. Быковский, А.Г. Якушев. Исследование аэродинамических характеристик альтернативных форм посадочного аппарата для изучения Венеры – Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – вып. 11.

4.9. Хмель Д. С.

Траекторные параметры при вводе с спускаемого аппарата аэростата при торможении оболочкой (АО «НПО Лавочкина» г. Химки)

С СА межпланетной станции ВЕГА после газонаполнения оболочки был проведен успешный ввод аэростатного зонда с использованием торможения аэростатного модуля парашютами. Для уменьшения рисков просадки на высоте ниже 50 км при вводе аэростата в плавание и перегрева систем в ряде работ был рассмотрен ввод аэростата с осуществлением торможения наполненной газом шарообразной оболочки аэростата [1,2,3].

В парашютных системах вместо купола парашюта использовался ввод в поток и наполнение через заборные устройства от набегающего потока оболочки, которая выполняет роль пневматического тормозного устройства. Такие оболочки типа боллюд используются для торможения в потоке с высоким скоростным напором. Рассчитан ввод в плавание аэростата с наполнением оболочки на большой высоте с использованием нижеследующей последовательности действий для ввода с использованием оболочки типа шар парашют.

Для ввода в плавание с спускаемого аппарата аэростата после открытия контейнера его оболочка(чки) вытягиваются за верхний полюс за счет ввода в поток вытяжного парашюта на высоте 70 км, одновременно сбрасывается часть конструкции контейнера. После этого в течении 3 – 10 секунд происходит наполнение воздушного баллонета оболочки набегающим потоком через заборные отверстия и оболочка приобретает наполненность. Система наполнения оболочки гелием закреплена за нижний полюс оболочки выделяет гелий в газовый объем оболочки аэростата, расположенный внутри газодержащей прочной оболочки шара парашюта типа боллюд. Подачу гелия в расположенный внутри газовый отсек оболочки постепенно увеличивается по мере уменьшения высоты и возрастания

плотности и атмосферного давления, обеспечивая увеличение газового объема и существенное уменьшение объема оболочки наполняемого набегающим потоком. После выделения части массы гелия, опорожненные баллоны сбрасываются на высоте около 60 км. После выделения оставшегося гелия на высоте не менее 55 – 53 км система газонаполнения отделяются от аэростата в качестве балластного груза, после чего аэростат приобретает избыток плавучести, всплывает на высоту 54 - 55 км и переходит в режим плавания. При плавании прочная воздухосодержащая оболочка выдерживает давление от расположенного внутри нее газового объема с несущим газом из легкого пластичного материала и обеспечивает поддержание фиксированного объема и высоты плавания аэростата. Тем самым ввод в действие аэростата для выполнения программы полета производится с использованием надуваемого от набегающего потока пневматического устройства в качестве которого используется оболочка типа шар парашют, которая как показал расчет успешно затормаживает падение после ввода из контейнера вытяжным парашютом.

Литература:

1. Кремнев Р. С., Карягин В. П., Балыбердин В. В., Клевцов А. А. Аэростаты в атмосфере Венеры ИПМ АН УССР Наука думка 1985 г., 105 с.
2. Воронцов В. А., Пичхадзе К.М. Проектирование аэростатных зондов для исследования планет Солнечной Системы. Изд-во МАИ-Принт. 2009г., 96 с.
3. Системное проектирование космических десантных аппаратов. В.А. Воронцов, В. В. Малышев, К.М. Пичхадзе. Издательство МАИ 2021, 255 с.

4.10. Калашников А.И., Моисеев Д.В.

О расчете траектории наискорейшего перелета легкого беспилотника самолетного типа между протяженными объектами с учетом действия ветра
(МАИ, г. Москва)

В докладе обсуждается предложенная авторами программно-алгоритмическая реализация расчета траектории наискорейшего перелета между парами протяженных объектов.

При этом для конкретной пары объектов исходными данными являются: воздушная скорость беспилотника, скорость и направление ветра в зоне полета, минимально допустимый по перегрузкам радиус разворота БЛА, а также координаты точек начала и конца траектории с соответствующими им значениями путевых углов, которые определяются с учетом местоположения и конфигурации рассматриваемой пары протяженных объектов. Структура оптимального решения, то есть программа изменения курсового угла, для такой задачи известна [1]. Траектория наискорейшего перелета состоит из участков движения с постоянным курсовым углом и/или разворотов с максимальной возможной скоростью. Вместо решения краевой задачи, используется специальный итеративный процесс [2]. При этом движение БЛА разделяется на относительное движение в системе координат связанной с воздушной массой и переносное движение этой массы по отношению к земной поверхности.

Для решения задачи была разработана программно-алгоритмическая реализация трех процедур. Внутренняя процедура заключается в построении в системе координат связанной с воздушной массой траекторий Дабинса [3] для предполагаемого положения точки окончания траектории. Внешняя процедура является итеративной и сводится к нахождению фактического положения точки окончания траектории методом дихотомии. На каждой итерации для нового положения предполагаемой точки реализуется внутренняя процедура. Завершающая процедура заключается в расчете искомой траектории. При этом используются результаты расчета программы курсового угла из траектории Дабинса, соответствующей фактической точке окончания траектории.

Описанное выше программное обеспечение разработано в среде Матлаб и интегрировано в общую программу планирования полета БЛА[4]. Приведен модельный пример расчета траектории.

Литература:

1. Timothy G. McGee, J. Karl Hedrick. Optimal Path Planning with a Kinematic Airplane Model. Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 30, № 2, March – April 2007.

2. E.Croft, R. Fenton, B.Benhahib. Optimal rendezvous-point selection for robotic interception of moving object. Transaction on systems. Cybernetics vol.28 №2, 1998.

3. L. E. Dubins. On Curves of Minimal Length with a Constraint on Average Curvature, and with Prescribed Initial and Terminal Positions and Tangent, American Journal of Mathematics, Vol. 79, No. 3 (Jul., 1957)

4. Калашников А.И., Моисеев Д.В. Новая версия специального программного комплекса маршрутизации полета легких беспилотников с использованием вычислителя INTLINPROG // Научно-технический вестник Поволжья, 2021. – №5. – с.13–18.

Calculating the fastest trajectory for extended objects by an lightweight UAV plane in wind

Kalashnikov A.I., Moiseev D.V. (Moscow Aviation Institute)

Abstract. This report discusses about how calculated trajectory of UAV plane for extended objects. This problem has been divided by two task – external planning problem and internal problem of overflight between extensional objects. Dubins have solved second task in no wind, Hedrick and McGee in wind conditions. We propose a software solution based on find time optimal solution. The intrenal task based on three procedures: finded optimal Dubins flight path, defines optimal time between objects and defines trajectory via optimal control at heading angle. Our software approach simplifies and makes clear the theoretichal approach the optimal flight plan for extensional objects by a lightweight uav plane in windshear.

4.11. Поляков А.А., Защирицкий С.А.

разработка методики отработки динамики посадки космического аппарата в земных условиях на планету Марс

(АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

Аннотация: Рассмотрена физико-математическая модель динамики посадки посадочного модуля космического аппарата на Марс. Определены основные параметры и условия посадки посадочного модуля на поверхность Марса. Приведены результаты бросковых испытаний натурного габаритно-массового макета посадочного модуля. Проведён сравнительный

анализ результатов математического моделирования и результатов бросковых испытаний. Выявлено, что проведённые по верификации работы позволяют использовать применяемую математическую модель для проведения расчётов посадки аппарата на поверхность Марса методом Монте – Карло.

Ключевые слова: математическая модель; верификация; наземная отработка динамики посадки; посадочный модуль; ударные испытания; стенд.

Одной из задач наземной экспериментальной отработки являются испытания динамики посадки ПМ, представляющие собой серию сбросов на стенде бросковых испытаний макета посадочной платформы с расчётной высоты, обеспечивающей заданную скорость посадки на поверхность, имитирующую уклоны в зоне предполагаемой посадки КА.

Бросковые испытания НГММ на стенде динамики посадки проводились с целью получения экспериментальных данных для корректировки физико-математической модели динамики посадки ПМ на поверхность Марса на основе сравнительного анализа данных, полученных в результате отработочных испытаний.

По результатам проведения сравнительного анализа значений параметров, полученных в ходе испытаний и результатов математического моделирования, была осуществлена верификация физико-математической модели динамики посадки посадочного аппарата и уточнены параметры, используемые для расчётов.

Комплекс работ по верификации физико-математической модели динамики посадки по результатам бросковых испытаний позволяет использовать данную математическую модель для проведения расчётов посадки аппарата на поверхность Марса методом Монте – Карло. Результаты данной работы будут использованы для решения задач, стоящих в космической технике и связанных с созданием средств посадки космических аппаратов на поверхность других планет.

Литература:

1. Баженов В.И., Осин М.И., Захаров Ю.В. Моделирование основных характеристик и процессов функционирования космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1985. 239 с.

2. Беляев А.С., Филипас А.А., Цавнин А.В., Тырышкин А.В. Методика расчета системы обезвешивания крупногабаритных трансформируемых элементов космических аппаратов при наземных испытаниях // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. № 1. С. 106-119.

3. Ефанов В.В., Карчаев Х.Ж. Российский сегмент международной космической экспедиции «ЭкзоМарс-2022»: в 2-х т. Химки: Издатель АО «НПО Лавочкина». 2020. Т. 2.

4. Поляков А.А., Защиринский С.А. Использование виртуального пространства для проведения макетно-конструкторских испытаний по электронному макету космического аппарата // Труды МАИ. 2019. № 107.

5. Абросимов П.А., Малышев В.В., Старков А.В., Титков М.А., Шмигирилов С.Ю., Методика математического моделирования динамического отклика конструкции спускаемого космического аппарата в условиях наземной стендовой отработки. Научно – технический вестник Поволжья. Казань, 2015, №2.

6. Пичхадзе К.М., Малышев В.В., Математическое обеспечение для проектно-баллистического исследования динамики неуправляемого движения спускаемых аппаратов. Москва, 2018.

4.12. Ефремов А.В., Тяглик М.С., Ефремов Е.В., Щербаков А.И.
Интеграция перспективных средств автоматизации ЛА
для обеспечения их безопасного и точного
пилотирования
(МАИ, г. Москва)

В настоящей работе приводятся результаты исследований эффективности интеграции прогнозного дисплея [1], адаптивной системы управления с он-лайн идентификацией коэффициентов регулятора системы управления [2] и активного рычага управления [3] с целью достижения наилучшей точности пилотирования.

Прогнозный дисплей представляет из себя трехмерный коридор, в котором на выбранном расстоянии (дальность прогноза) изображается сечение, которое движется внутри коридора со скоростью летательного аппарата и куда проецируется, так называемый, прогнозный вектор скорости.

Адаптивный регулятор реализует принцип нелинейной динамической инверсии (NDI). В качестве активного рычага управления используется боковой рычаг управления, формирующий сигнал, посылаемый в тракт управления, пропорционально усилиям, которые к нему прикладывает летчик.

Исследования выполнены путем математического и полунатурного моделирования системы самолет-летчик для различных объектов управления. Показано, что при такой интеграции повышаются требования к быстродействию исполнительных устройств. Для обеспечения безопасности пилотирования в работе предложен алгоритм ограничителя скорости отклонения привода.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от «20» апреля 2022 г. № 075-15-2022-309)

Литература:

1. Efremov, A.V., Tiaglik, M.S. / The development of perspective displays for highly precise tracking task // *Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control*, Springer, 2011, pp. 163-174

2. A.V. Efremov, E.V. Efremov, M.S. Tiaglik, I. Kh Irgaleev, A.I. Shcherbakov, Z. Mbikay / Adaptive flight control system for flight safety improvement in reentry and other high-velocity vehicles // *Acta Astronautica*. – 2022. – Vol. 204. – p. 900 – 911.

3. Ефремов А.В., Ефремов Е.В. / Модификация структурной модели управляющих действий летчика и ее приложение к задаче выбора характеристик и типа рычага управления // *Вестник Московского авиационного института*. – 2023. – Т. 30, №1. – с. 167-180.

Integration of perspective ways of aircraft automatization to ensure their flight safety and improvement task performance

Efremov A.V., Tiaglik M.S., Efremov E.V., Shcherbakov A.I. (Moscow Aviation Institute)

This paper is dedicated to study of effectiveness of integrating a predictive display [1], an adaptive control system with on-line

identification of flight control system controller coefficients [2] and an active inceptor [3] in order to achieve the best possible piloting accuracy.

The predictive display is a 3D corridor in which a cross section is moving at a selected distance (predictive from pilot range), moves inside within the corridor at the speed of the aircraft and where the so-called predictive path angle is projected. The adaptive controller implements the principle of non-linear dynamic inversion (NDI). A sidestick is used as an active inceptor that generates a signal proportional to the force applied by pilot sent to the flight control system.

The research was carried out by mathematical and modelling and ground-based simulation of the pilot-aircraft system for different control element dynamics. It is shown that the integration increases the requirements to the actuators rate limit. In order to ensure flight safety, an algorithm for the actuator deflection rate limiter is proposed in the paper.

The paper was prepared under the Program for the Development of the World-Class Research Center “Supersonic” in 2020-2025, funded by the Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement dated April 20, 2022, No. 075-15-2022-309)

Bibliography:

1. Efremov, A.V., Tiaglik, M.S. / The development of perspective displays for highly precise tracking task // *Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control*, Springer, 2011, pp. 163-174

2. A.V. Efremov, E.V. Efremov, M.S. Tiaglik, I. Kh Irgaleev, A.I. Shcherbakov, Z. Mbikayi / Adaptive flight control system for flight safety improvement in reentry and other high-velocity vehicles // *Acta Astronautica*. – 2022. – Vol. 204. – p. 900 – 911.

3. Efremov, A.V., and Efremov, E.V., Modification of the Pilot Behavior Structural Model and Its Application to the Task of Selecting the Characteristics and Type of Inceptors. *Aerospace MAI Journal*, 2023, vol. 30, no. 1, pp. 167-180

4.13. Гордиенко Е.С., Литвинчук Э.А., Розин П.Е., Симонов А.В.

Цифровой моделирующий комплекс для отработки бортового программного обеспечения системы ориентации и стабилизации КА дистанционного зондирования Луны

(АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

Наземная экспериментальная отработка бортовых алгоритмов системы ориентации и стабилизации любого КА включает в себя несколько этапов: математическое моделирование; отработка в составе цифрового моделирующего комплекса интегрированного в комплексный стенд КА; отработка в составе лётного изделия.

Цифровой моделирующий комплекс представляет собой совокупность программного-аппаратных компонент, которая обеспечивает имитацию полёта (управляемого вращательного и орбитального движения с учётом возмущений) КА и имитацию работы измерительных и исполнительных органов системы ориентации и стабилизации. Таким образом, будучи интегрированным в состав стенда КА, данный комплекс является важнейшей частью наземной экспериментальной отработки.

В докладе рассматриваются основные принципы построения цифрового моделирующего комплекса для КА ДЗЛ. Особое внимание уделяется организации его программной составляющей в части: имитации стохастических характеристик системы ориентации и стабилизации с повторяемостью результатов; возможностей контроля массивов параметров моделирования штатными средствами ЦУП и системой визуального контроля самого АЦК; имитации отказов и сбоев элементов системы ориентации и стабилизации и регистрации нештатных ситуаций.

4.14. Гордиенко Е.С., Литвинчук Э.А., Розин П.Е., Симонов А.В.

Особенности проектирования безгироскопных систем ориентации и стабилизации КА ДЗЗ

(АО «НПО Лавочкина», г. Химки)

За последние несколько лет возникла необходимость создания больших группировок, включающих в себя несколько десятков и даже сотен аппаратов дистанционного зондирования Земли. В силу различных причин существует необходимость

установки на КА в качестве измерительных приборов системы ориентации и стабилизации только звёздных датчиков, без включения в состав системы гироскопических измерителей вектора угловой скорости.

Требуемая высокая точность стабилизации, работа в условиях возможной засветки или затенения звёздных датчиков со стороны Солнца и Земли, необходимость обеспечить построение ориентации из произвольного положения КА при условии отсутствия измерительных гироскопических приборов: все это приводит к необходимости совершенно иного подхода к проектированию системы ориентации и стабилизации аппарата в части набора бортовых алгоритмов обработки измерений и формирования управляющих сигналов на исполнительные органы.

Доклад посвящён рассмотрению бортовых алгоритмов безгироскопной системы ориентации и стабилизации КА ДЗЗ, которые необходимы для решения как целевой задачи, так и безопасного функционирования аппарата в дежурном режиме. К таким алгоритмам относятся: алгоритм прогноза углового движения КА в условиях отсутствия измерительной информации; алгоритм оптимальной обработки асинхронных измерений нескольких звёздных датчиков; алгоритм динамического наблюдателя системы для расширенного вектора состояния с оценкой внешних возмущающих воздействий.

4.15. Шеремет А.А., Рыжков В.В.

Развертывание десантного модуля с роторной системой в атмосфере Венеры (МАИ, г. Москва)

Экстремальные условия на Венере, такие как чрезвычайно плотная атмосфера, давление 9,3 МПа и температура поверхности 460 °С представляют собой серьезные проблемы для любой венерианской миссии.

Для развертывания десантного модуля с роторной системой в атмосфере Венеры потребуется тщательно спланированная миссия.

Чтобы совершить успешную посадку на Венеру, десантный модуль с роторной системой должен быть спроектирован таким образом, чтобы выдерживать экстремальную температуру,

давление и коррозионную среду венерианской атмосферы во время входа и спуска.

Развертывание аппарата из теплозащитного корпуса в атмосфере Венеры, возможно осуществить двумя способами:

1. Посадка на поверхность в режиме авторотации.

2. Ввод в действие винтов на высоте.

Спуск при режиме авторотации

Авторотация происходит, когда роторы приводятся в движение исключительно воздушным потоком, проходящим через них, а не двигателем или мотором. Когда аппарат спускается через атмосферу Венеры, воздушный поток, проходящий через роторы, заставит их вращаться, создавая подъемную силу и замедляя спуск. Десантному модулю потребуются отрегулировать скорость вращения винтов и шаг лопастей во время снижения, чтобы сохранить устойчивость и управляемость.

Последовательность этапов:

1. Вход в атмосферу Венеры.

2. Ввод парашюта и сброс нижнего теплозащитного экрана.

3. Как только нижняя полусфера отделяется, происходит авторотация.

4. Разворачивание посадочных опор.

5. Отделение верхнего теплозащитного экрана.

6. Роторы продолжают вращаться, обеспечивая подъемную силу, и аппарат благополучно приземлится на поверхность.

Ввод в действие винтов на высоте

На определенной высоте отстыковать десантный модуль, а затем запустить роторную систему для создания подъемной силы. Этот метод потребует точного времени и контроля, чтобы гарантировать, что десантный модуль будет выпущен на нужной высоте, а роторная система начнет работать правильно.

Последовательность этапов:

1. Вход в атмосферу Венеры.

2. Ввод парашюта и сброс нижнего теплозащитного экрана.

3. Как только нижняя полусфера отделяется, происходит активация роторной системы.

4. Разворачивание посадочных опор.

5. Отделение верхнего теплозащитного экрана.

6. Активация роторной системы, обеспечит подъемную силу, и аппарат благополучно приземлится на поверхность, либо начнет исследовать окрестности и проводить научные измерения.

Несмотря на эти трудности, десантный модуль с роторной системой может стать ценным инструментом для изучения поверхности планеты и проведения научных исследований. Потенциально он мог бы пролетать над интересующими нас районами и собирать данные о геологии, атмосфере и климате планеты. Однако для того, чтобы аппарат стал реальностью, потребуются значительные исследования и разработки.

Литература:

1. Oleson, Steven R., and Michael Paul. "COMPASS Final Report: Advanced Lithium Ion Venus Explorer (ALIVE)." (2016).

2. Smith, B.P.; et al, "Venus In Situ Explorer Mission Design using a Mechanically Deployed Aerodynamic Decelerator" IEEE Aerospace Conference, 2013.

3. Планета Венера. Атмосфера, поверхность, внутреннее строение / Под ред. Т.А. Касаткиной. – М.: Наука, 1989. – 482 с.

Deployment of a landing module with a rotor system in the atmosphere of Venus

Sheremet A.A., Ryzhkov V.V. (Moscow Aviation Institute)

Extreme conditions on Venus, such as an extremely dense atmosphere, a pressure of 9.3 MPa and a surface temperature of 460 °C. These conditions present serious problems for any Venusian mission.

Deploying a landing module with a rotor system in the atmosphere of Venus will require a carefully planned mission.

To make a successful landing on Venus, a landing module with a rotor system must be designed to withstand the extreme temperature, pressure, and corrosive environment of the Venusian atmosphere during entry and descent.

Deployment of the device from the heat-shielding housing in the atmosphere of Venus can be done in two ways:

1. Landing on the surface in autorotation mode.

2. Putting the propellers into action at a height.

Descent in autorotation mode

Autorotation occurs when the rotors are driven solely by the airflow passing through them, and not by an engine or motor. As the craft descends through the atmosphere of Venus, the airflow through the rotors will cause them to rotate, creating lift and slowing down the descent. The landing module will need to adjust the propeller speed and blade pitch during descent to maintain stability and control.

The sequence of steps:

1. Entry into the atmosphere of Venus.
2. Entering the parachute and resetting the lower heat shield.
3. As soon as the lower hemisphere separates, autorotation occurs.
4. Deploy landing legs.
5. Separation of the upper heat shield.
6. The rotors will continue to rotate, providing lift, and the vehicle will land safely on the surface.

Putting screws into action at a height

At a certain height, undock the landing module, and then launch the rotor system to create lift. This method will require precise timing and control to ensure that the landing module will be released at the correct height and the rotor system will start working correctly.

The sequence of steps:

1. Entry into the atmosphere of Venus.
2. Entering the parachute and resetting the lower heat shield.
3. As soon as the lower hemisphere separates, the rotor system is activated.
4. Deploy landing legs.
5. Separation of the upper heat shield.
6. Activation of the rotor system will provide lift, and the device will land safely on the surface, or begin to explore the surroundings and conduct scientific measurements.

Despite these difficulties, a landing module with a rotor system can be a valuable tool for studying the surface of the planet and conducting scientific research. Potentially, it could fly over areas of interest to us and collect data on the geology, atmosphere and climate of the planet. However, for the device to become a reality, significant research and development will be required.

Bibliography:

1. Oleson, Steven R., and Michael Paul. "COMPASS Final Report: Advanced Lithium Ion Venus Explorer (ALIVE)." (2016).

2. Smith, B.P.; et al, "Venus In Situ Explorer Mission Design using a Mechanically Deployed Aerodynamic Decelerator" IEEE Aerospace Conference, 2013.

3. Планета Венера. Атмосфера, поверхность, внутреннее строение / Под ред. Т.А. Касаткиной. – М.: Наука, 1989. – 482 с.

4.16. Малышев А.В., Тепцов В.А.

Построение оптимальных программ сближения космических аппаратов в условиях наличия ошибок внешнетраекторных измерений

(АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», МАИ, г. Москва)

На сегодняшний день количество искусственных спутников Земли достигло своего максимума и продолжает расти. Причём спектр операций, выполняемых орбитальными аппаратами, расширяется, что заставляет специалистов в области управления движением космических аппаратов решать задачи прогнозирования орбитальных манёвров аппаратов в условиях наличия случайных факторов и требований к одновременному выполнению нескольких условий сближения. Встреча и стыковка на орбите являются сложнейшим этапом совместного функционирования космических аппаратов, решение задач которого динамически развивается и не имеет единой формализации. Исторически операции встречи делят на несколько общих этапов: подготовка, старт и выведение на орбиту (в том числе - в зону встречи), поиск и захват цели, сближение, причаливание и стыковка. В случае, когда траекторная информация обоих аппаратов известна, либо известны законы их управляемого движения, задача встречи и стыковки решается с учётом известных и апробированных методов управления. Однако, возможна ситуация, когда пассивным объектом встречи является неисправный аппарат. В таком случае операцию встречи и стыковки приходится осуществлять по внешнетраекторным оценкам параметров его движения, что на практике приводит к появлению области неопределённости неисправного аппарата в области встречи. Таким образом, в процессе управления активным аппаратом возникает задача не только устранения исходной разницы прогнозируемых координат, но и динамической, ошибки прогнозирования, случайный характер которой обусловлен, в том числе, точностными характеристиками средств внешнетраекторных измерений.

Авторами предлагается подход к построению программ оптимального управления активным КА в задаче сближения с пассивным КА по данным внешнетраекторных измерений. В ходе исследований получены оптимальные программы управления двигателями инспектора для ряда критериев, в том числе - для

критерия быстродействия и критерия минимума потребной энергии. Результаты исследований могут быть внедрены при проектировании алгоритмов сближения с неисправными орбитальными аппаратами в условиях погрешностей наземных траекторных измерений.

4.17. Аунг Мьо Тант, Константинов М.С.

Низкоэнергетические перелеты к Луне через точек либрации в системе Земля-Луна

(АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», МАИ, г. Москва)

Проблема определения и исследования свойств лунных траекторий КА важна для космонавтики и небесной механики, и она занимает заметное место в исследованиях по механике космического полета. В настоящее время, то, что низкоэнергетические траектории захвата КА Луной реальны, доказано не только теоретически, но и практически. В целом, низкоэнергетический перелет — это почти баллистический перелет между Землей и Луной, который использует гравитацию Солнца для снижения потребностей космического аппарата (КА) в топливе. Низкоэнергетические перелеты расширяют окна запуска и требуется относительно небольшое увеличение требуемой энергии при отклонении даты старта от оптимальной [1,2,3].

Разработан метод низкоэнергетических перелетов с низкой околоземной орбиты в заданную орбиту Луны через точки Либрации в системе Земля-Луна. Учитывается возмущенное движение планеты (Солнца-Земля-Луна). Рассматривается повышения эффективности выполнения транспортных космических манёвров при реализации лунных перелетов. Настоящие лунные программы предполагают реализацию многих проектов, включающих доставку на низкую окололунную орбиту грузов большой массы. Грузовые перевозки допускают увеличение времени выполнения перелета. Использование перевозок низкоэнергетических траекторий является целесообразным. Они позволяют увеличить полезную нагрузку или уменьшить затраты. При этих полезных эффективностях низкоэнергетические перелеты являются важной проблемой. Низкоэнергетические перелеты имеют менее напряженный график работы служб сопровождения и управления движением КА на реализуемой траектории перелета. Время между предполагаемыми моментами коррекции довольно большое, что

дает возможность тщательного выполнения навигационных измерений и выработки плана дальнейшего перелета. При проектировании низкоэнергетических перелетов есть возможность обеспечить выведение одной ракетой-носителем нескольких КА на окололунные орбиты, разделяя КА на низкой околоземной орбите и выбирая различные планы полета для каждого из КА. Требуемая энергетика таких космических аппаратов будет очень близкой. Такой возможности практически нет при использовании традиционных прямых перелетов [4].

При проектировании низкоэнергетических перелетов есть возможность обеспечить выведение одной ракетой-носителем нескольких КА на окололунные орбиты, разделяя КА на низкой околоземной орбите и выбирая различные планы полета для каждого из КА. Требуемая энергетика таких космических аппаратов будет очень близкой. Такой возможности практически нет при использовании традиционных прямых перелетов. Имея в виду перечисленные выше преимущества низкоэнергетических траекторий перелета, заметим, что их реализация является сложной проблемой. Такая траектория очень чувствительна к любым ошибкам по начальным условиям движения [5,6]. Требуется очень высокая точность навигационных измерений и их обработки. Требуется очень высокая точность исполнения коррекций траекторий. Эти обстоятельства вместе с большим увеличением времени перелета должны учитываться при выборе возможных альтернативных схем перелета при выведении КА на окололунные орбиты [7].

В настоящей работе рассматривается задача нахождения рациональной схемы перелета с низкой околоземной орбиты на орбиту искусственного спутника Луны. Двигательная установка КА предполагается химической. Считается многие характеристики низкой околоземной орбиты известными. Целевая орбита искусственного спутника Луны предполагается низкой круговой. Известна высота конечной круговой окололунной орбиты. Высота этой орбиты предполагается заданной. Требуется найти характеристики оптимальной импульсной схемы перелета КА с околоземной орбиты на окололунную орбиту. Критерием оптимизации рассматривается величина второго импульса скорости, которым заканчивается перелет. Вся траектория КА разбивается на два участка: геоцентрический и селеноцентрический участки. При этом на

перелетной траектории на КА действуют силы притяжения трех небесных тел (Земли, Луны и Солнца).

Для описания движения КА используется модель ограниченной задачи 4-х тел. Прежде всего, траектория перелета должна быть выбрана так, чтобы солнечные гравитационные возмущения обеспечили подлет КА к окрестности Луны с небольшой величиной селеноцентрической скорости. Поэтому, на первом этапе работы были предприняты попытки оценивать гравитационные солнечные возмущения как функции относительного положения Солнца в момент запуска космического аппарата и элементов промежуточной орбиты, на которую переводится КА при старте с низкой околоземной орбиты. Основное предположение для определения этого начального приближения (и можно считать, предлагаемого метода) – сужение пространства перелетных траекторий. Вводится предположение, что КА попадает в окрестность Луны через «горловины» в окрестности точек либрации системы Земля–Луна L1 или L2. Дополнительно предполагается, что при прохождении КА окрестности точки либрации радиус перигея и радиус апогея оскулирующей геоцентрической траектории близки к аналогичным элементам геоцентрической оскулирующей орбиты точки либрации. Идея такого предположения заключается в том, чтобы обеспечить прохождение горловины окрестности точки либрации («пробраться» в окололунное пространство) с небольшой величиной селеноцентрической энергии. Это может обеспечить временный захват КА Луной.

Литература:

1. Егоров В.А. Пространственная задача достижения Луны. М. Наука. 1965. 224 с.
2. Ивашкин В.В. О траекториях полета точки от Луны к Земле с гравитационным освобождением от лунного притяжения. Доклады Академии наук, 2004, том 398, №3, с. 340-342.
3. V. V. Ivashkin, "On the Earth-to-Moon Trajectories with Temporary Capture of a Particle by the Moon," Proceedings of the 54th International Astronautical Congress held September 29-October 3, 2003, Bremen, Germany, Paper IAC-03-A.P.01), pp. 1-9, 2003.
4. E. A. Belbruno, "Lunar Capture Orbits, a Method of Constructing Earth Moon Trajectories and the Lunar Gas Mission," Proceedings of the

19th AIAA/DGLR/JSASS International Electric Propulsion Conference held May 1987, Colorado Springs, Colorado, Paper AIAA 87-1054, 1987.

5. J. S. Parker and G. H. Bom, "Modeling a Low-Energy Ballistic Lunar Transfer Using Dynamical Systems Theory," Journal of Spacecraft and Rockets, vol. 45, no. 6, pp. 1269- 1281, San Diego, California, November-December 2008.

6. J.S. Parker, R.L. Anderson. Low-energy Lunar Trajectory design. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014, 398 p

7. Зай Яр Вин, Старков А.В., Федоров А.В., Тришин А.А. Компенсация деградации орбитальных параметров космической группировки дополнения ГЛОНАСС // Научно-технический вестник Поволжья №1 2021, с. 22-25

4.18. Зонов Н.И., Моисеев Д.В.

Навигация геостационарных КА с использованием спутниковых навигационных систем и астроизмерений (МАИ, г. Москва)

На кафедре 604 «Системный анализ и управление» МАИ проведено сравнительное исследование навигации геостационарных КА (ГКА) с использованием спутниковых навигационных систем (СНС) GPS, ГЛОНАСС, Galileo и астроизмерений, под которыми понимаются углы Звезда-Объект-Земля (Полярная Звезда, Сириус, Канопус) и Солнце-Объект-Земля. Моделирование процессов навигации геостационарного КА проводилось с учётом смешанных возмущений, сопровождающих процессы эволюции и наблюдений, и имеющих различную природу неопределённости (случайных и неопределённых в статистическом смысле). Проведённый анализ может быть полезен при выборе конкретной конфигурации системы навигации ГКА.

Также были исследованы различные пути повышения точности астронавигации ГКА. В частности, были рассмотрены такие варианты как увеличение объема выборки измерений, увеличения количества используемых звёзд, применение различных комбинаций астроизмерений, а также использование Луны в качестве дополнительного навигационного ориентира.

Результаты исследований опубликованы в цикле статей [1 – 7]. Авторы надеются, что опубликованные материалы

заинтересуют специалистов, работающих в области космической навигации.

Литература:

1. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть I. Математические модели процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №3. – С 22 – 28.
2. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть II. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №3. – С. 29 – 34.
3. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть III. Математические модели процессов навигации с использованием астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – С. 77 – 82.
4. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть IV. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – С. 83 – 88.
5. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть V. Сравнительный анализ результатов имитационного моделирования процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем и астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №9. – С. 35 – 42.
6. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Повышение точности астронавигации геостационарных КА. Часть I. Увеличение объема выборки измерений и количества звезд – ориентиров. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №11. – С. 62 – 68.
7. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Повышение точности астронавигации геостационарных КА. Часть II. Луна – ориентир и комбинирование астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №11. – С. 69 – 75.

4.19. Зонов Н.И., Моисеев Д.В.

**Безоператорная полиномиальная аппроксимация
функций многомерного аргумента
(МАИ, г. Москва)**

Была сформулирована и решена задача аппроксимации функций n -мерного аргумента полиномами заданной степени на заданном множестве узловых точек методом наименьших квадратов.

В отличие от сложившегося традиционного подхода, при котором, как в формуле Тейлора, например, использованы дифференциальные операторы [1, 2], в рассматриваемой работе аппроксимирующие полиномы записываются в явном виде без использования операторов. С учётом этого, решение задачи аппроксимации функций многомерного аргумента полиномами заданной степени получено в простом, компактном виде.

Корректность и эффективность предложенного способа аппроксимации были подтверждены при аппроксимации конкретных функций с различными размерностями аргумента и заданием различных степеней полиномов.

Полученный результат может быть использован как в теоретических исследованиях, так и при решении прикладных задач в различных предметных областях.

Литература:

1. Зорич В.А. Математический анализ, часть I. –М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 544 с.

2. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. — Изд. 8-е. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — Т. I. —680 с. — ISBN ISBN 5-9221-0156-0.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,
УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ**

**Системы
дистанционного
зондирования
Земли**



Для заметок

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on the right side, suggesting it's resting on a surface.

5.1. Ткаченко И.С.

База данных обеспечивающих бортовых систем и полезных нагрузок малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли как средство информационной поддержки процесса проектирования многоспутниковых орбитальных группировок
(Самарский университет им. Королева, г. Самара)

С развитием информационных технологий в последние десятилетия значительно выросла роль систем информационной поддержки процесса проектирования технических изделий. Возможности систем эффективного управления знаниями позволяют обеспечивать общность терминологии, определений объектов и отношений между ними. Разработка новых способов и развитие технологий проектирования и конструирования на базе подходов системной инженерии позволит не только решить актуальную научную проблему создания лёгких, эффективных и надёжных малых космических аппаратов (МКА), но и способствует снижению стоимости серийных изделий.

МКА и космические системы на их базе (в том числе многоспутниковые) разрабатываются в соответствии с тактико-техническими заданиями, в которых определены их тактико-технические характеристики. Одним из направлений в проектировании, обеспечивающих эффективное решение задач создания МКА в короткие сроки, является использование платформенных принципов. Переход к построению МКА на базе крупных компонентов позволяет создавать семейство МКА, отличающихся по составу целевой аппаратуры, но имеющих общую платформу, включающую в себя набор обеспечивающих систем.

Важность обмена знаниями в области проектирования изделий между инженерами широко признана в инженерно-конструкторской деятельности. Однако большинство баз знаний, созданных для обмена проектной информацией и поддержки процесса проектирования, содержат только данные САПР и не содержат знаний о функциональных характеристиках изделий, их стоимости, совместимости и надёжности, которые играют решающую роль в получении успешного продукта.

Разработана база данных, содержащая информацию о функциональности инженерных изделий, которая может стать важным подспорьем в повышении эффективности проектной деятельности. Использование такого рода инструментов позволяет проектировщикам быстро находить требуемую информацию, что может сократить время проектирования и, в конечном итоге, привести к лучшему проектному решению.

Литература:

1. Ткаченко И.С., Сафронов С.Л., Коровин М.Д., Иванушкин М.А., Крестина А.В. Информационная система поддержки предварительного проектирования малых космических аппаратов // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №1(47). С.75-89.

Database of on-board systems and payloads of small remote sensing satellites as a means of information support for design of multi-satellite orbital constellations

Tkachenko I. S. (Samara University, Samara, Russia)

With the development of information technology in recent decades, the role of information support systems for the design process of technical products has increased significantly. The capabilities of effective knowledge management systems allow to ensure the commonality of terminology, object definitions and relations between them. The development of new ways and the development of design and construction technologies based on systems engineering approaches will not only solve the urgent scientific problem of creating light, efficient and reliable small satellites (SS), but also contribute to reducing the cost of serial products.

Small satellites and space systems based on them (including multi-satellite) are developed in accordance with the tactical and technical tasks, which define their tactical and technical characteristics. One of the directions in design ensuring effective solution of SS creation tasks in a short time is the use of platform principles. The transition to SS on the basis of large components allows to create a family of satellites that differ in the composition of the payload, but have a common platform that includes a set of supporting subsystems.

The importance of product design knowledge sharing among engineers is widely recognized in engineering and design activities. However, most of the knowledge bases created to exchange design information and support the design process contain only CAD data and

do not contain knowledge about the functional characteristics of products, their cost, compatibility and reliability, which play a crucial role in obtaining a successful product.

A database has been developed that contains information about the functionality of engineering products, which can be an important aid in improving the efficiency of design activities. Using these kinds of tools allows designers to quickly find the information they need, which can reduce design time and ultimately lead to a better design solution.

Bibliography:

1. Tkachenko I.S., Safronov S.L., Korovin M.D., Ivanushkin M.A., Krestina A.V. An information system to support preliminary design of small spacecraft [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(1): 75-89.

5.2. Морозов А.А., Старков А.В.

Анализ подходов к решению задачи распределения сверхбольших объемов информации в перспективных сетевых ОГ КА ДЗЗ

(МАИ, г. Москва)

Представлены различные варианты к решению задачи распределения сверхбольших объемов информации в перспективных сетевых орбитальных группировках с общим предполагаемым сценарием работы всей системы, с учетом ожидаемой в ближайшем будущем номенклатуры КА ДЗЗ, согласно Федеральной космической программе на 2016-2025 гг.

Задача представляет собой создание моделей распределения целевой информации как с использованием классического взаимодействия между КА и ППИ, так и с использованием новейших для систем ДЗЗ межспутниковых линий связи.

В ходе анализа подходов к решению рассматриваемой задачи разработаны основные модели для последующего создания специализированного программного обеспечения, с учетом: возможности использования ограничений на создание межспутниковых линий связи, а также выбор предполагаемых критериев для оптимизированного выбора маршрута передачи данных.

Были получены модели перспективной орбитальной группировки, коммутации радиоканалов с последующим использованием в научной работе и созданием

специализированного программного обеспечения для моделирования различных перспективных космических систем с целью получить возможность выявления необходимости создания дополнительных модернизируемых антенно-фидерных устройств для новейших КА ДЗЗ на этапе создания или глубокой модернизации всей системы ДЗЗ.

Литература:

1. Морозов А.А., Старков А.В., Белоусов И.А., Удалова Н.В. Распределения потоков целевой информации в перспективных орбитальных группировках дистанционного зондирования Земли // СТИН, № 11, 2021, с. 23-26.

2. Емельянов А. А., Малышев В. В., Смольянинов Ю. А., Старков А. В. Управление потоками целевой информации при функционировании космической системы дистанционного зондирования Земли – Москва : Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 232 с. – ISBN 978-5-4316-0756-1. – EDN NFXLDE.

3. Старков А.В., Емельянов А.А., Гришанцева Л.А., Жуковская К.И., Морозов А.А., Тришин А.А. Методология управления потоками целевой информации в космической системе дистанционного зондирования Земли Часть 2. Формирование системы взаимосвязанных математических моделей // Вестник Российского университета дружбы народов, серия: Инженерные исследования, Т. 22, № 2, 2021, с. 148-161. DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-148-161.

5.3. Некрасов В.В.

Проект лекций по специальности 2.3.1 по направлению космические аппараты дистанционного зондирования Земли

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)

Для обучения в аспирантуре акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» предлагается создать дополнительный

с основным курсом комплекс лекций по направлению космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Создание данного проекта лекций нацелено в учебном процессе на изучение и закрепление материала положений паспорта специальности 2.3.1 на примерах космических комплексов и аппаратов производства АО «Корпорация «ВНИИЭМ». Это различные актуальные в настоящее время системы для дистанционного зондирования Земли, такие как: космический комплекс «Метеор-3М» [1], космический комплекс «Канопус-В» [2], космический аппарат «Ломоносов», космический аппарат «Татьяна-2» и др.

Данные лекции необходимы для формирования базового представления у аспирантов существующих алгоритмов проектирования по созданию систем космических комплексов и аппаратов, для формирования дальнейшей возможности с помощью данных кадров создания централизованной, единой концепции создания космических аппаратов на предприятии.

Создание данного проекта лекций также ставит перед автором задачу оценки дальнейшей возможности создания нейросети космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с возможным управлением искусственным интеллектом.

Литература:

1. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 2-2. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – 150 с.

2. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическими аппаратами «Канопус-В» № 5 и № 6. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – 124 с.

Project of lectures on specialty 2.3.1 in the direction of remote sensing satellites of the Earth

Nekrasov V. V. ("VNIIEEM Corporation" JC, Moscow, Russia)

For postgraduate studies at the joint-stock company "Scientific and Production Corporation "Space Monitoring Systems, Information management and Electromechanical Complexes" named after A.G. Iosifyan" in the specialty "System analysis, management and processing of information, statistics", it is proposed to create an additional set of

lectures with the main course in the direction of Earth remote sensing satellites.

The creation of this lecture project is aimed in the educational process at studying and consolidating the material of the provisions of the passport of specialty 2.3.1 on the examples of space complexes and apparatuses produced by JC "Corporation "VNIIEM". These are various currently relevant systems for remote sensing of the Earth, such as: the Meteor-3M space complex [1], the Canopus-V space complex [2], the Lomonosov spacecraft, the Tatiana-2 spacecraft, etc.

These lectures are necessary for the formation of a basic understanding among graduate students of the existing design algorithms for the creation of systems of space complexes and spacecraft, for the formation of the possibility of further opportunities with the help of these personnel to create a centralized, unified concept for the creation of spacecraft at the enterprise.

The creation of this lecture project also sets the author the task of evaluating the further possibility of creating a neural network of Earth remote sensing spacecraft with possible artificial intelligence control.

Bibliography:

1. Meteor-3M Hydrometeorological and Oceanographic Support Space Complex with Meteor-M spacecraft No. 2-2. – Moscow: VNIIEM Corporation JSC, 2019 - 150p.

2. Space complex of operational monitoring of technogenic and natural emergencies "Canopus-V" with spacecraft "Canopus-V" No. 5 and No. 6. – Moscow: JC "Corporation "VNIIEM", 2018. – 124 p.

5.4. Калашников А.И., Моисеев Д.В.

Планирование наискорейшего облета группы протяженных объектов легким беспилотником самолетного типа в условиях действия ветра
(МАИ, г. Москва)

В последнее время возрос интерес к мониторингу так называемых протяженных объектов. К ним относятся как искусственные сооружения, например, участки шоссе и железных дорог, линии электропередач, трубопроводы, так и природные образования, например, береговые линии, или русла рек. Особенностью наблюдения таких объектов является то, что необходимый эффект достигается при пролете вдоль них на всем протяжении.

Для легких БЛА, имеющих относительно невысокую воздушную скорость, наиболее существенным фактором, влияющим на время полета и, соответственно, на план облета объектов, является ветер. Учитывая, что время и зона полета легких аппаратов сравнительно невелики допустимо при расчетах использование модели постоянного (по направлению и скорости) ветра. Основным ограничением при моделировании движения аппаратов самолетного типа является перегрузка при выполнении разворотов для изменения направления полета от одного объекта к другому. Влияние этого фактора усиливается с уменьшением расстояния между объектами.

Процедура планирования полета в рассматриваемой задаче естественным образом распадается на два этапа. На первом находится плоская траектория наискорейшего перелета между всеми возможными парами объектов с учетом заданной воздушной скорости БЛА и значений параметров ветра в зоне полета. При этом фактически задача заключается в нахождении траектории, обеспечивающей наискорейший перелет между парой точек с известными координатами и путевыми углами. Структура оптимального решения указанной задачи, найденная с помощью принципа максимума, представляет собой комбинацию из участков с максимальной, или нулевой скоростью изменения курсового угла полета [1]. Конкретный вид комбинации находится в результате использования специальной процедуры, эквивалентной процедуре решения краевой задачи.

На втором этапе, по известной методике [2], находится последовательность наискорейшего облета объектов. При этом результаты первого этапа используются как исходные данные.

Программные модули, реализующие описанную выше процедуру, были добавлены к программному комплексу маршрутизации полета легких БЛА [3]. Тестирование модифицированного программного комплекса подтвердило работоспособность предложенной процедуры планирования.

Литература:

1. Timothy G. McGee, J. Karl Hedrick. Optimal Path Planning with a Kinematic Airplane Model. Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 30, № 2, March – April 2007.

2. Моисеев Д.В. и др. Планирование наискорейшего маршрута облета легким дроном точечных и протяженных

объектов в поле постоянного ветра // Тезисы докладов 16-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2017», 20-24 ноября 2017г., Москва. – М.: Типография «Люксор», 2017 – С.279 – 278.

3. Калашников А.И., Моисеев Д.В. Новая версия специального программного комплекса маршрутизации полета легких беспилотников с использованием вычислителя INTLINPROG // Научно-технический вестник Поволжья, 2021. – №5. – с.13–18.

Overflight planning for extended objects by a lightweight uav plane in windshear

Kalashnikov A.I., Moiseev D.V. (Moscow Aviation Institute)

Abstract – In this discussing presented the actual problem – overflight planning for extended objects by lightweight uav plane in windshear. Explains the need to take into account factors such as maximum turning rate and overload of the UAV, wind velocity and path angle during extended objects and beyond. Path planning or routing has been considering by many authors. However, in this article, the planning problem is solving in relation to the UAV flight trajectory with construcing constraints and wind.

For solving this problem, task divided into two subproblems. At the first stage calculating all trajectories between objects in wind for lightweight UAV plane. At the second planning stage is defines the sequence overflight for extended objects. In second stage, the results of the first stage are using as initial data.

This approach implementing in the software package for routing lightweight UAV [3].

5.5. Василевский В.В.

Спектральный метод обработки и оценивания видеоинформации многозональных изображений аэрокосмического мониторинга (МАИ, г. Москва)

Исследуется решение проблемы выполнения мониторинга малококонтрастных объектов в условиях априорной неопределенности помехово-сигнальной обстановки путем совершенствования технологии комплексной обработки

видеоинформации многозональных изображений, получаемых приемными устройствами.

Решение сложной стохастической задачи фильтрации спектрозональной видеоинформации информации сводится к более простой задаче отыскания частного минимума функции потерь, полученной на основе спектрального метода оценивания апостериорной плотности распределения данных изображения.

Представлена модель многозонального изображения на основе функции спектральной плотности пространственно-гармонических составляющих случайного поля.

Приведено описание адаптивного алгоритма комплексной обработки и оценивания спектрозональной видеоинформации, синтеза единого изображения объекта наблюдения.

В последние годы все большее распространение получают технологии и системы дистанционного исследования Земли и других планет, которые позволяют обеспечить решение широкого круга задач исследования природных ресурсов, геологии, навигации и в других практических приложениях.

Дальнейшее расширение сфер и прикладных задач использования систем аэрокосмического мониторинга связано с повышением эффективности распознавания объектов на основе дальнейшего совершенствования технологии и методов обработки многозональных изображений (МЗИ).

Одной из проблем применения средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в условиях априорной неопределенности характеристик сигнально-помеховой обстановки, является обеспечение требуемой достоверности выявления малоконтрастных объектов земной поверхности. К классу малоконтрастных (малозаметных) объектов наблюдения здесь будем относить образы, вектор состояния которых является случайной функцией распределения яркости изображений, формируемых камерами соответствующего спектрального диапазона.

Один из возможных подходов к решению проблемы связан с реализацией технологии обработки и оценивания видеоинформации спектрозональных изображений, получаемых камерами (приемными устройствами) соответствующего спектрального диапазона [1,2].

Известен интерактивный метод комплексирования видеоинформации спектрозональных изображений, при котором

параметры обработки настраиваются оператором на основе априорной информации и не изменяются по полю кадра, т.е. является неадаптивным, поэтому требуют выполнения настроек соответствующих параметров при потоковой обработке кадров.

Возможно использование яркостного метода при построении алгоритма комплексной обработки многозональных изображений малоконтрастных объектов наблюдения, однако при этом необходимо реализовать процедуру проверки выполнения ряда ограничений и условий, связанных с различием характеристик приемных устройств соответствующих спектральных диапазонов излучений, изменением условий освещенности объектов наблюдения, вида регистрируемых излучений (отраженное, собственное) [1,2].

В данной работе исследуются возможности использования спектрального метода комплексной обработки спектральнозональных изображений, обеспечивающего инвариантность к изменениям характеристик сцен наблюдения малоконтрастных объектов наблюдения.

Предлагаемый подход включал постановку и решение следующего комплекса задач исследования [3-7]:

- построение модели многомерных полутоновых (цветных) многомерных изображений видимого спектрального диапазона, содержащих объекты наблюдения и текстуру фона земной поверхности. Используется детерминированно-вероятностная модель наблюдения объектов изображения, когда измерения проводятся блочно по мере текущей обработки кадра, ошибки наблюдений могут быть коррелированы;
- описание спектрального метода оценивания и адаптивной фильтрации спектральнозональной видеоинформации при обработке МЗИ, предусматривающего оценивание в каждом канале обработки случайного поля пространственно - гармонических составляющих и определения матричной функции спектральной плотности спектральнозонального изображения;
- разработка модифицированного адаптивного алгоритма обработки видеоинформации спектральнозональных изображений на основе вычисления оптимальных оценок вектора весовых коэффициентов пространственно -

- гармонических составляющих спектрзонального изображения для объекта и фона, соответственно;
- построение единого изображения с учетом имеющегося уровня априорной информированности о спектральных характеристиках объекта и фона наблюдения. Вычисление яркостного образа восстановленного единого изображения осуществляется с использованием процедуры обратного быстрого преобразования Фурье, соответствующие кадры спектрзональных видеофрагментов объединяются при синтезе единого полутонового или цветного изображения;
 - тестирование полученного метода обработки МЗИ на модельных задачах и анализ достоверности распознавания объектов наблюдения.

Таким образом, полученные результаты показывают возможности повышения отношения сигнал/шум и заметности наблюдаемого образа на едином изображении по сравнению с исходными спектрзональными изображениями.

Применение спектрального метода комплексования позволяет реализовать автоматизированную обработку многозональных изображений в условиях наличия ограничений по априорной информированности, необходимой для использования яркостного подхода [8,9].

Литература:

1. Василевский, В.В. Многоспектральная обработка видеоинформации в задачах аэрокосмического мониторинга малозаметных объектов местности // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2018. – Вып. 4 (251). – С. 4-7.
2. Введение в статистическую теорию распознавания образов. Фукунага К.: Пер. с англ.—М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 368 с.
3. Гурман В.И. Принцип расширения в задачах управления. – М.: Физматлит, 1997.- 288 с.
4. Диткин, В.А. Интегральные преобразования и операционное исчисление / В.А. Диткин, Н.П. Прудников. – М.: Физматгиз, 1974. – 544 с.
5. Пугачев В.С., Сеницын И.Н. Теория стохастических систем. – М.: Логос, 2000. – 1000 с.

6. Фомин В.Н. Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация / В.Н. Фомин. – М.: Наука, 1984. – 288 с.

7. Vasilevskiy V. Deterministic-Probabilistic Image Model in Technologies of Aerospace Monitoring // «AIP Conference Proceedings» <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0125838>.

8. Старков А.В., Емельянов А.А., Гришанцева Л.А., Жуковская К.И., Морозов А.А., Тришин А.А. Методология управления потоками целевой информации в космической системе дистанционного зондирования Земли. Часть 1. Формализация задачи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 1. С. 54–64. DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-1-54-64

9. Старков А.В., Емельянов А.А., Гришанцева Л.А., Жуковская К.И., Морозов А.А., Тришин А.А. Методология управления потоками целевой информации в космической системе дистанционного зондирования Земли. Часть 2. Формирование системы взаимосвязанных математических моделей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 2. С. 148–161. DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-148-161

5.6. Смольянинов Ю.А., Старков А.В.

Аспекты планирования детальной космосъемки крупных регионов

(МАИ, г. Москва)

Целью задачи планирования космосъемки является составление расписания операций съемки и сброса, определяющего моменты t_k включения/выключения и углы φ_k отклонения целевой аппаратуры КА от надира на временном интервале, ограниченном горизонтом планирования T . При проведении высокодетальной съемки множества Ω крупных площадных регионов произвольной формы габаритные размеры снимаемых полигонов значительно (в разы) превышают ширину полосы съемки. Чтобы снять все регионы из Ω , следует при последовательных проходах КА каждый полигон накрыть узкими полосами съемки, выбирая нужные значения углов φ_k так, чтобы перекрытия между смежными полосами лежали в допустимых пределах и объединение полос либо целиком накрывало

отдельные регионы, либо критериальная функция, например его площадь, была максимальной на интервале планирования T .

Один из возможных подходов к решению задачи накрытия за период T состоит в замене каждого полигона на множество F_N полосовых фрагментов f_n так, чтобы большая часть Ω или Ω целиком принадлежало объединению f_n .

Для формирования полосовых фрагментов каждому отдельному полигону ставится в соответствие набор «прицельных» точек, которые расположены внутри полигона равномерно по долготе с шагом, равным угловой ширине полосы съемки, и имеют широту центроида полигона. Наличие прицельных точек позволяет при каждом проходе КА вблизи или над полигоном вычислять возможные моменты включения/выключения t_k и углы съемки φ_k , которые в дальнейшем использовать для выбора наилучшей программы управления съемкой.

Моделирование работы группы однотипных КА совместно с наземным комплексом приема данных космосъемки с использованием приложения, вычисляющего программу съемки площадных объектов по «прицельным точкам», показывает работоспособность такого подхода [1].

Литература:

1. В.В. Малышев, Ю.А. Смольянинов, П.Е. Розин, А.В. Старков, А.В. Федоров. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Изд-во МАИ, 2022 – 384 с.: ил.

Авторский указатель

Абубекеров М.К.	59	Калашников А.И.	120, 146
Адонин А.С.	32	Киспе Мендоза М.В.	117
Александров А.А.	108	Ковков Д.В.	20
Бетанов В.В.	23	Кравчик Т.Н.	83
Бобронников В.Т.	69	Круглов А.В.	23
Болкунов А.И.	31	Кудрявцев С.В.	83, 84
Борисов А.В.	15	Куимов А.В.	85
Буряк Ю.И.	87, 90	Курносов А.А.	62
Быков Н.В.	110	Кустодов А.Ю.	13
Василевский В.В.	148	Кутومانов А.Ю.	13
Васильев Е.В.	60	Литвинчук Э.А.	127
Васильев Р.М.	36	Логинов М.Ю.	101
Виноградов С.О.	72	Любезный Б.В.	115
Воронцов В.А.	74, 77, 112, 115, 117	Макаров Н.Ю.	18, 74
Гордиенко Е.С.	127	Малышев А.В.	78
Гостев Н.Ю.	59	Малышев В.В.	31, 57, 58
Деткин А.В.	83	Матюшин М.М.	13
Довгальук Е.И.	18	Микрюков А.Н.	33
Дроботухин В.К.	60	Моисеев Д.В.	120, 136, 138, 146
Дьячук А.К.	69	Молоденков А.В.	101
Евграфов А.Ю.	32	Морозов А.А.	143
Егошин С.Ф.	80	Морозов В.В.	108
Емельянов А.А.	15	Морозова Т.А.	51, 53
Ерешко М.В.	15	Некрасов В.В.	144
Ерохин Г.А.	23	Никитин А.В.	44, 46
Ефремов А.В.	124	Остапюк А.И.	27
Ефремов Е.В.	124	Петров А.В.	87, 90
Жорняк А.Г.	51, 53	Петров Д.Ю.	63
Захаров А.И.	59	Петухов В.Г.	107
Защиринский С.А.	47, 122	Пиявский С.А.	57, 58
Земцова Е.В.	36	Поляков А.А.	47, 122
Зонов Н.И.	136, 138	Потанин С.А.	59
Ильин А.И.	25	Потапова Д.Ю.	65

Примаков Д.А.	44, 46	Стеколыщиков О.Ю.	59
Прохоров М.Е.	59	Тепцов В.А.	78
Пустовалов Е.В.	27	Терентьев М.Н.	49
Рассказова В.А.	95	Ткаченко И.С.	141
Ризванов А.А.	27	Тришин А.А.	97
Розин П.Е.	127	Туркин И.К.	104
Розовенко В.М.	83, 84	Тучин М.С.	59
Рудко А.А.	62	Тяглик М.С.	124
Русальчук А.А.	108	Федулов В.А.	110
Рыжков В.В.	77, 128	Феоктистова О.Г.	65
Сальцберг А.В.	42	Хартов В.В.	27
Селин А.И.	104	Хмель Д. С.	119
Селин В.А.	15	Хмель Д.С.	112
Семенов А.А.	78	Челноков Ю.Н.	101
Серафимов В.П.	33	Челышов С.Ю.	43, 44, 46
Серко С.Г.	33	Черкасова М.А.	33
Сидорчук С.В.	90	Шабанов В.Е.	43
Сидякин И.В.	36	Шеремет А.А.	128
Сизов А.А.	27	Шупен К.Г.	40
Симонов А.В.	127	Щербаков А.И.	124
Смолянинов Ю.А.	152	Юн Сон Ук	107
Старков А.В.	143, 152	Яценко М.Ю.	77



©Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
АНО ДПО «Космос – образование»
2023 год