

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИКИ РАН)

УДК 531.01 004.09 004.04

Номер государственной регистрации 122042500013-4

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института космических исследований  
Российской академии наук  
член-корреспондент РАН

А.А. Петрукович

« 22 » декабря 2022 г.

М.П.



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов (промежуточный, этап 1)

Тема УПРАВЛЕНИЕ  
FFWG-2022-0005

Научный руководитель

д.т.н. Р.Р. Назиров

« 22 » декабря 2022 г.

Москва  
2022

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы  
зав. отделом, д-р техн. наук



20.12.22 г.

подпись, дата

Назиров Р.Р.  
(введение, заключение)

Ответственный исполнитель,  
вед. научн. сотр.,  
д-р физ.-мат. наук



20.12.22 г.

подпись, дата

Ковалёва А.С.  
(раздел 1)

Ответственный исполнитель,  
главный специалист



20.12.22 г.

подпись, дата

Боярский М.Н.  
(раздел 2)

Ответственный исполнитель,  
ст. научн. сотр.,  
канд. техн. наук



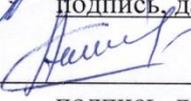
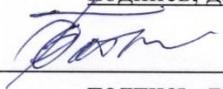
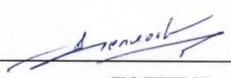
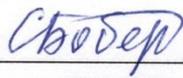
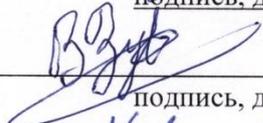
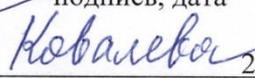
20.12.22 г.

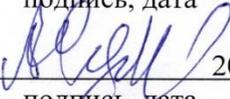
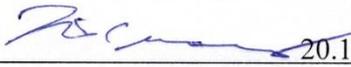
подпись, дата

Коноплёв В.В.  
(раздел 3)



ИСПОЛНИТЕЛИ:

|   |  |             |                               |
|---|--|-------------|-------------------------------|
| Вед. научн. сотр.,<br>д-р физ.-мат. наук  | <br>_____   | 20.12.22 г. | Алтайский М.В.<br>(раздел 2)  |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Главный специалист                        | <br>_____   | 20.12.22 г. | Андреев А.В.<br>(раздел 2)    |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Вед. математик,<br>канд. техн. наук       | <br>_____   | 20.12.22 г. | Аксенов С.А.<br>(раздел 1)    |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Рук. сектора                              | <br>_____   | 20.12.22 г. | Батанов О.В.<br>(раздел 2)    |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Мл. научн. сотр.                          | <br>_____   | 20.12.22 г. | Беляев А.А.<br>(раздел 1)     |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Программист                               | <br>_____   | 20.12.22 г. | Бобер С.А.<br>(раздел 1)      |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Главный специалист                        | <br>_____ | 20.12.22 г. | Боярский М.Н.<br>(раздел 2)   |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Ст. научн. сотр.,<br>канд. техн. наук     | <br>_____ | 20.12.22 г. | Егоров В.В.<br>(раздел 2)     |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Мл. научн. сотр.                          | <br>_____ | 20.12.22 г. | Зубко В.А.<br>(раздел 1)      |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Вед. научн. сотр.,<br>д-р физ.-мат. наук  | <br>_____ | 20.12.22 г. | Ковалёва А.С.<br>(раздел 1)   |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Ст. научн. сотр.,<br>канд. техн. наук     | <br>_____ | 20.12.22 г. | Коноплев В.В.<br>(раздел 2,3) |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Инженер                                   | <br>_____ | 20.12.22 г. | Матвеев А.М.<br>(раздел 2)    |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Нач. отдела                               | <br>_____ | 20.12.22 г. | Назаров В.Н.<br>(раздел 2)    |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Глав. научн. сотр.,<br>д-р физ.-мат. наук | <br>_____ | 20.12.22 г. | Пулинец С.А.<br>(раздел 1,2)  |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Программист                               | <br>_____ | 20.12.22 г. | Полякова Т.В.<br>(раздел 1)   |
|   | подпись, дата  |             |                               |
| Вед. математик                            | <br>_____ | 20.12.22 г. | Рязанова Е.Е.<br>(раздел 1)   |
|   | подпись, дата  |             |                               |

|  |   |                                 |
|--|---|---------------------------------|
| Мл. научн. сотр.                       | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Стальная М.В.<br>(раздел 2)     |
| Главный специалист                     | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Старостина О.А.<br>(раздел 2,3) |
| Вед. научн. сотр.,<br>канд. техн. наук | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Суханов А.А.<br>(раздел 1)      |
| Вед. научн. сотр.,<br>д-р. техн. наук  | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Суровяткина Е.Д.<br>(раздел 1)  |
| Научн. сотр.,<br>канд. физ.-мат. наук  | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Федяев К.С.<br>(раздел 1)       |
| Зам. зав. отделом                      | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Шевченко М.И.<br>(раздел 2)     |
| Вед. научн. сотр.,<br>канд. техн. наук | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата   | Эйсмонт Н.А.<br>(раздел 1)      |
| Нормоконтроль                          | <br>_____ 20.12.22 г.<br>подпись, дата | Шевченко М.И.<br>(раздел 2)     |

## РЕФЕРАТ

Настоящий документ содержит отчет за 2022 год о научно-исследовательской работе по теме FFWG-2022-0005 УПРАВЛЕНИЕ - исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов. Номер государственной регистрации - 122042500013-4.

Текст отчета состоит из Введения, трех разделов и Заключения. В разделе 1 «Математические модели планирования космических экспериментов» приводятся результаты исследований задач навигационного и баллистического обеспечения космических проектов, решения задач управления сложными механическими системами переменной структуры с целью создания требуемых режимов движения, результаты исследования катастроф и критических явлений в распределенных динамических системах. В разделе 2 «Интеллект. Телекоммуникационные технологии» приводятся результаты работ в области развития наземных научных комплексов (ННК) для сопровождения космических проектов, работ по спутниковому мониторингу факельных источников нефтяных газов. В разделе 3 «Космос» описываются результаты работ по разработке и внедрению обобщенной отказоустойчивой и масштабируемой архитектуры для территориально распределенной проектно-ориентированной сети в рамках поддержки ННК космических экспериментов. В Заключении приводится описание наиболее значимого результата по теме, а именно баллистического проектирования перелета к транснептуновому объекту Седна. В конце отчета дана информация о публикационной активности исполнителей.

Отчет содержит 50 страниц, 16 рисунков, 90 источников.

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА, АСТЕРОИДНО-КОМЕТНАЯ ОПАСНОСТЬ, НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ, НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ, ОРБИТЫ ИСЗ, АРХИВЫ НАУЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ, НАЗЕМНЫЕ НАУЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

| СОДЕРЖАНИЕ |  |      |
|------------|--|------|
|            |  | Стр. |
|            | ВВЕДЕНИЕ   | 8    |
| 1          | Раздел 1. Математические модели планирования космических экспериментов   | 10   |
| 1.1        | Баллистико-навигационное обеспечение космических экспериментов в проектах «ЭкзоМарс», «СРГ» «ЧИБИС-АИ», «ВЕНЕРА-Д», «Трабонт», планируемых лунных миссиях. Результат: разработка программного обеспечения и выбор оптимальных орбит  | 10   |
| 1.2        | Оптимизация управления космическими аппаратами (КА) в задачах полета в окрестности коллинеарных точек либрации. Результат: сценарии и процедуры выбора программ выполнения маневров космических аппаратов  | 11   |
| 1.3        | Баллистическое проектирование миссий к спутникам планет и малым телам Солнечной системы. Результат работы – расчеты возможных сценариев миссий с учетом оптимизации топливных затрат   | 11   |
| 1.4        | Разработка методики расширения достижимых для посадки областей поверхности небесных тел (планет и спутников) на основе использования резонансных орбит. Результат работы – расчет баллистических схем, позволяющих обеспечить посадку спускаемого аппарата в заданную область поверхности небесного тела   | 15   |
| 1.5        | Системное исследование проблем оптимизации состава и параметров комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит. Результат: научно-технические исходные данные, метод оптимизации и управления параметрами комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит   | 17   |
| 1.6        | Исследование критических явлений и управление ими в сложных дискретных и распределенных системах переменной структуры. Результат: разработка методов поиска критических областей и управление ими с целью создания требуемых режимов функционирования природных и технических систем   | 17   |
| 1.7        | Определение ориентации научного прибора эксперимента «Плазма-Ф» в солнечно-эклиптической системе и расчет направления солнечного ветра   | 18   |
| 1.8        | Предотвращение опасных термоакустических явлений путем воздействия на локальную динамику: зародыши фазы термоакустической неустойчивости   | 19   |
| 1.9        | Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий   | 20   |
| 1.10       | Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов (МКЭ)  | 22   |
| 2          | Раздел 2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии   | 24   |
| 2.1        | Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ в сети Интернет   | 24   |
| 2.2        | Дальнейшее исследование и штатное внедрение технологий программно-определяемых параллельных и распределенных систем хранения, включающих механизмы повышенной надежности хранения, поддержку твердотельных накопителей в качестве промежуточного "кэширующего" уровня, а также средства интеграции в облачные инфраструктуры. Оценка экономической эффективности и технологических ограничений данных технологий. Выработка рекомендаций по их использованию | 24   |
| 2.3        | Разработка концептуальных подходов построения информационных систем наземного сопровождению космических экспериментов  | 25   |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.4 | Применение ночных данных радиометра VIIRS (КА Suomi NPP и JPSS-1) для оценки объёмов сжигания попутного газа на факельных установках, характеристик естественных пожаров, искусственных высокотемпературных аномалий и вулканической деятельности, а также детектирования огней (освещения) рыболовных судов  | 26 |
| 2.5 | Восстановление миниатюр и изображений с угасшим текстом (палимпсестов) из коллекции Государственного исторического музея с применением вариационного анализа и свёрточных нейронных сетей   | 28 |
| 2.6 | Теоретические исследования, связанные с применением квантовых нейронных сетей для перспективных квантовых бортовых систем искусственного интеллекта   | 29 |
| 2.7 | Оценка и управление риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы. Продолжение исследования возможностей применения космических данных для улучшения оценок риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы: автоматизированное применение моделей рассеяния загрязнений ISC/AERMOD к оценке риска здоровью по российским исходным данным и космическим наблюдениям. Продолжение работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы предприятиями и транспортом | 30 |
| 3   | Раздел 3. Космос  | 34 |
| 3.1 | Разработка и внедрение обобщенной отказоустойчивой и масштабируемой архитектуры для территориально распределенной проектно-ориентированной сети в рамках поддержки научных наземных комплексов для сопровождения космических экспериментов  | 34 |
|     | <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>   | 35 |
|     | <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>   | 37 |
|     | Публикации по теме <b>УПРАВЛЕНИЕ</b>  | 48 |

## ВВЕДЕНИЕ

Основные направления деятельности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук соответствуют Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 гг., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р.

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с государственными заданиями Министерства науки и высшего образования, ежегодным тематическим планом Института и “Федеральной космической программой России” по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 1.3.7)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей (номер направления в Программе 1.3.7)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 1.3.7)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 1.5)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 2.3.1.1.)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 1.3.7)
- Информационно-вычислительные системы и среды в науке и образовании (номер направления в Программе 1.1.8)

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 гг., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р.

| п/п | Направление фундаментальных исследований   | Номер направления в «Программе» |
|-----|--|---------------------------------|
| 1   | <b>Астрономия и исследования космического пространства</b><br>1.3.7.1. Происхождение, строение и эволюция Вселенной<br>1.3.7.2. Физика галактик и межгалактической среды<br>1.3.7.3. Физика звезд и компактных объектов<br>1.3.7.4. Солнце и околоземное космическое пространство, солнечно-земные связи<br>1.3.7.5. Планеты и планетные системы<br>1.3.7.6. Развитие методов наземной и внеатмосферной астрономии             | 1.3.7                           |
| 2   | <b>Физика плазмы</b><br>1.3.4.3. Плазменные процессы в геофизике и астрофизике   | 1.3.4                           |
| 3   | <b>Науки о Земле</b><br>1.5.8. Океанология<br>1.5.9. Науки об атмосфере, климатология<br>1.5.10. География, геоэкология и рациональное природопользование<br>1.5.11. Водные ресурсы, гидрология суши<br>1.5.12. Метрология и цифровизация в науках о Земле<br>1.5.1.6. Изучение и прогнозирование катастрофических явлений (землетрясения, извержения вулканов, цунами); оценки сейсмической, вулканической и цунами опасности | 1.5                             |
| 4   | <b>Механика</b><br>2.3.1.1. Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем   | 2.3.1                           |
| 5   | <b>Информационно-вычислительные системы и среды в науке и образовании</b><br>1.1.8.1. Сетевая поддержка науки и образования; структуризация и визуализация больших данных в науке и образовании<br>1.1.8.2. Алгоритмы и программные системы в космическом мониторинге Земли и экологии   | 1.1.8                           |

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики проводятся по теме FFWG-2022-0005 УПРАВЛЕНИЕ.

Тема FFWG-2022-0005 УПРАВЛЕНИЕ является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2022 г. по теме УПРАВЛЕНИЕ Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов.

## УПРАВЛЕНИЕ

Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов

Гос.рег. № 122042500013-4

### Раздел 1 Математические модели планирования космических экспериментов

#### 1.1 Баллистико-навигационное обеспечение космических экспериментов в проектах «ЭкзоМарс», «СРГ» «ЧИБИС-АИ», «ВЕНЕРА-Д», «Трабант», планируемых лунных миссиях. Результат: разработка программного обеспечения и выбор оптимальных орбит

Были проведены исследования и разработки в части задач управления движением, которые востребованы текущими и перспективными проектами ИКИ РАН.

В первую очередь это относится к проектам «Венера-Д», «СРГ» и задачам, примыкающим к лунным миссиям.

Так, в части задач, связанных с исследованиями Венеры, были проработаны технология и соответствующие сценарии управления движением космических аппаратов, которые позволили включить в эскизный проект миссии к Венере вариант с гравитационным манёвром у Венеры. Это открыло возможности достижения посадочным аппаратом любого района Венеры практически без дополнительных затрат рабочего тела и других ресурсов.

Что касается проекта «СРГ», то была разработана технология продолжения этого проекта после завершения его основной части путем дополнения научной программы экспериментами по проведению исследования астероида Апофис с пролётной траектории. Более того, было показано, что запас рабочего на борту аппарата позволяет вернуть аппарат на гало-орбиту.

Разработки, относящиеся к лунным миссиям, показали, что в состав этих миссий могут быть включены малые космические аппараты как дополнительная полезная нагрузка, которую можно направить на солнечно-земные гало-орбиты.

В рамках проекта «ЭкзоМарс» было проведено исследование по априорному оцениванию точности определения параметров вращения Марса по результатам измерений доплеровского смещения частоты радиосигнала, проходящего с наземного измерительного пункта на прибор, расположенный на посадочной платформе «Казачок» и ретранслируемого затем в обратном направлении. Разработан программный комплекс для моделирования измерений, с его помощью получены априорные оценки точности определения координат посадочной платформы на поверхности Марса при различных

предположениях о коррелированности проводимых измерений. Также рассматривался выбор оптимального состава параметров линейной модели измеряемой величины доплеровского смещения частоты радиосигнала и определялись параметры вращения Марса, которые могут быть уточнены при помощи указанных измерений.

По всем перечисленным направлениям были подготовлены соответствующие публикации, в том числе, в высокорейтинговых журналах.

### **1.2 Оптимизация управления космическими аппаратами (КА) в задачах полета в окрестности коллинеарных точек либрации. Результат: сценарии и процедуры выбора программ выполнения маневров космических аппаратов**

Была рассмотрена задача оптимизации управления космическими аппаратами в задачах полета в окрестности коллинеарных точек либрации, включая решение задач выполнения маневров обсерваторией СРГ в окрестности точки L2 для продолжения проекта за пределы планируемого времени эксплуатации, в том числе при переходе на новые траектории. В качестве возможного сценария продолжения проекта рассмотрены сценарии баллистических перелетов космического аппарата, находящегося в окрестности коллинеарной точки либрации системы Солнце-Земля, к потенциально опасным астероидам после завершения основной миссии. В частности, показана возможность расширения проекта "Спектр-Рентген-Гамма" и некоторых зарубежных проектов путем перенаправления космического аппарата на траекторию тесного сближения с одним из исследуемых астероидов для их изучения с близкого расстояния. Также рассмотрены случаи применения космического аппарата с двигателем малой тяги для решения аналогичных задач. Сделаны выводы о технической осуществимости таких перелетов с учетом оценочных значений остаточных запасов топлива.

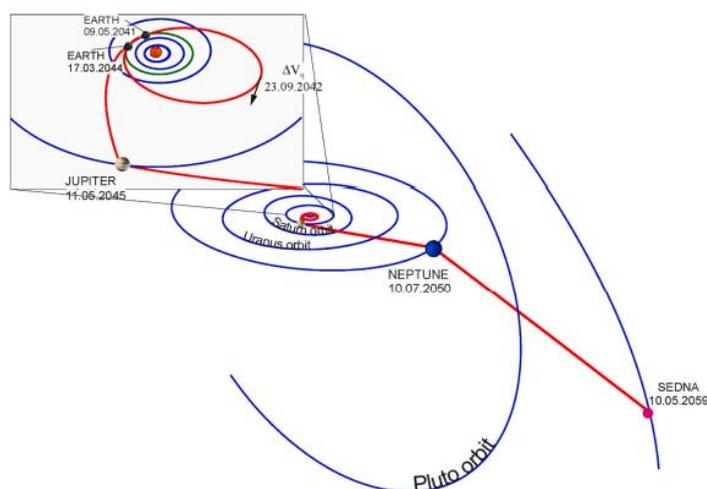
### **1.3 Баллистическое проектирование миссий к спутникам планет и малым телам Солнечной системы. Результат работы – расчеты возможных сценариев миссий с учетом оптимизации топливных затрат**

В результате баллистического проектирования миссий полета к малым небесным телам были определены схемы «быстрого» (суммарной продолжительностью не более 20 лет) полета к транснептуновым объектам (ТНО) (90377) Седна и 2012 VP113, относящимся к классу экстремальных или обособленных ТНО. Изучение этих объектов с близкого расстояния может предоставить уникальные данные о самых ранних стадиях эволюции Солнечной системы, включая стадию протопланетного диска и связанные с этим

механизмы, и, в том числе, позволит приблизиться к разрешению вопроса о существовании девятой планеты.

Баллистические сценарии миссий полета к Седне уже проводились зарубежными учеными в 2011 г. и 2020-2022 гг. Согласно их оценкам, потребуется не менее 7.42 км/с характеристической скорости ( $\Delta V$ ) и времени перелета 24.48 года для того, чтобы достичь Седны используя гравитационные маневры у Юпитера и планет-гигантов. Исследования, проведенные в 2019-2021-гг, показали, что при снижении требований к величине  $\Delta V$  и использовании вышеупомянутой схемы полета достичь Седну возможно и за меньшее время (18-20 лет), однако суммарные затраты характеристической скорости при этом возрастут вплоть до 14.5 км/с.

Проведенное исследование показало, что затраты характеристической скорости могут быть снижены по сравнению с теми, которые предлагаются зарубежными учеными, при этом время, затрачиваемое на достижение небесного тела, может быть также сокращено за счет удачного выбора даты старта. Были рассмотрены как прямой полет, так и использование маневров гравитационной поддержки вблизи Венеры, Земли и планет-гигантов Юпитера и Нептуна, также была рассмотрена схема полета к Седне с маневром Оберта вблизи Солнца. Траектории определялись с учетом времени полета и ограничений на полную характеристическую скорость ( $\Delta V$ ). Рассматривался старт в период с 2026 по 2053 гг. В результате оптимизации (определялся минимум суммарной  $\Delta V$  при ограничениях на время полета КА) были определены траектории КА, позволяющие достичь Седну при продолжительности полета не более 20 лет с затратами  $\Delta V$  менее 8 км/с. Например, в одном из лучших сценариев при использовании схемы полета с маневром  $\Delta VEGA$  ( $\Delta V$  и гравитационный маневр у Земли) и маневрами у Юпитера и Нептуна суммарные затраты  $\Delta V$  составили около 6,13 км/с для запуска в 2041 году (рис. 1), что на 17% лучше результатов, полученных зарубежными исследователями, при этом время полета с 24.48 лет сокращается до 18 лет в рассмотренном случае.



*Рисунок 1.3.1 – Полет к ТНО Седна с гравитационными маневрами у Земли, Юпитера и Нептуна при старте в 2041 году (длительность полета 18 лет).*

Рассмотренный перелет к Седне с маневром Оберта у Солнца является специфической схемой и обладает как несомненным преимуществом – увеличение гелиоцентрической скорости, так и недостатком – тесное сближение с Солнцем. Проведенное исследование показало, что использование такой схемы наиболее эффективно, если запуск КА осуществляется в 2035 году, поскольку время полета к Седне в этом случае сокращается до 10-14 лет при затратах  $\Delta V \sim 9.8-11$  км/с (другие схемы требуют более 12 км/с затрат характеристической скорости). Однако преимущество маневра в большей степени нивелируется необходимостью увеличить тепловую защиту КА, уменьшив при этом на 13-15% его общую массу.

Также проводились оценки максимальной конечной массы КА (масса полезной нагрузки + масса служебных систем КА), доставляемой к Седне. На рисунке 1.3.2 приведено распределение конечной массы КА в зависимости от времени полета к Седне, используемой схемы и класса ракеты-носителя (РН). Например, для схем с маневром  $\Delta VEGA$  конечная масса составляет 500 кг при использовании РН "Союз 2.1.б", 2000 кг при использовании "Протон-М" или американского РН Delta IV Heavy, и превышает 12 000 кг (сверхтяжелый носитель SLS). Для схем с использованием только гравитационной помощи Юпитера конечная масса КА сокращается примерно в два раза по сравнению со схемами, в которых предполагается использование маневра  $\Delta VEGA$ . Также исследовались схемы полета с разделением КА в перигея пролетной траектории у Юпитера и Нептуна с последующим достижением одновременно двух целей – Седны и иного транснептунового тела. В результате было определено пять ТНО, подходящих для этого сценария: три экстремальных ТНО 2012 VP113, (541132) Leleākūhonua (бывший 2015 TG387), 2013 SY99) и два кьюбикано: (90482) Orcus, (20000) Varuna. Заметим, что первые три объекта

интересны тем, что их орбитальный период составляет от нескольких тысяч лет до десятков тысяч.

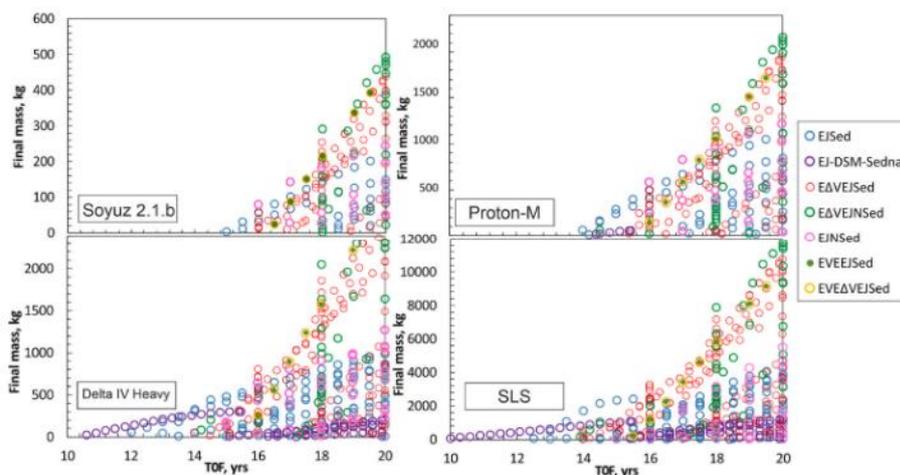


Рисунок 1.3.2 – Конечная масса, доставляемая к Седне, в зависимости от используемого средства выведения. Обозначения на рисунке: Final mass – конечная масса КА, TOF – время полета, E – Земля, V – Венера, J – Юпитер, N – Нептун, Sed – Седна.

Были исследованы схемы полета к транснептуновому объекту 2012 VP113. Траектории с гравитационными маневрами вблизи Земли, Венеры, Юпитера и Нептуна рассматривались как основной способ достижения объекта. В ходе исследования были рассмотрены схемы полета, такие как те, которые ранее были осуществлены во время миссий «Пионер-10 и 11» и «Новые Горизонты». Оказалось, что наилучшей является схема полета Земля-Венера-Земля-Земля-Юпитер-Нептун, позволяющая достичь объект, находящийся на расстоянии в более чем 84 а.е. за 30 лет при затратах  $\Delta V = 3,9$  км/с, что на 1,8 км/с меньше, чем аналогичный полет без гравитационного маневра у Нептуна. Стоит отметить, что такая схема может быть реализована лишь в 2026 году, а уже полет при старте в 2029 при использовании той же схемы потребует увеличения затрат  $\Delta V$  на 1,5 км/с. Также был предложен сценарий совмещения миссии по исследованию планеты-гиганта и полета к транснептуновому телу. На примере сценария миссии Neptune Odyssey было показана принципиальная возможность осуществления подобного подхода, однако время полета к ТНО, после разделения КА у Нептуна будет составлять не менее 20 лет в силу необходимости обеспечения безимпульсного перелета.

Также было проведено моделирование различных схем полета к спутникам планет-гигантов Юпитера (Ганимед) и Нептуна (Тритон и Нереида). При построении траектории полета к спутнику Юпитера Ганимеду на гелиоцентрическом участке полета использовались маневры у Венеры и Земли для снижения затрат топлива необходимых для достижения Юпитера по сравнению с прямым полетом. Для перелёта к Ганимеду в сфере действия Юпитера предлагается использовать гравитационные манёвры у галилеевых

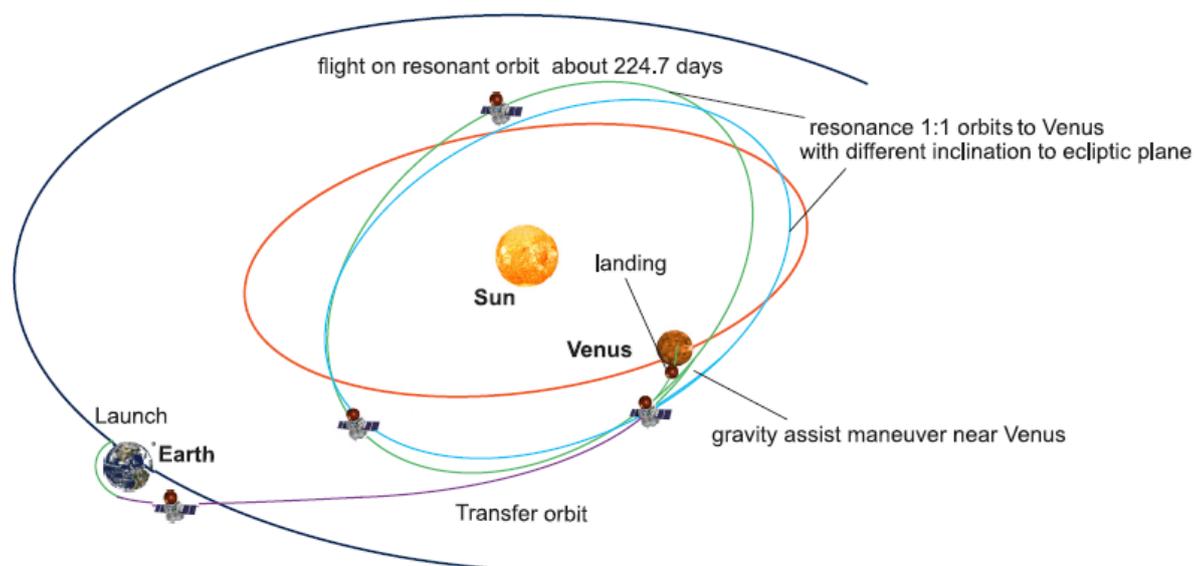
спутников. Подход с использованием кратной промежуточной орбиты позволил путём варьирования угла наклона траектории в момент посадки также достичь любой точки на поверхности спутника, в то время как использование прямой посадки не позволяет получить того же эффекта.

При проектировании перелета к спутникам Нептуна Тритону и Нереиде исследовались возможности применения гравитационного маневра у Юпитера и электроракетных двигателей. Основным сценарий перелета к Тритону включает в себя два этапа: перелет к Нептуну и маневрирование в сфере действия Нептуна. Первый этап состоит из старта с низкой околоземной орбиты, разгона космического аппарата по спиральной траектории до отлетной от Земли скорости, перелет к Юпитеру и гравитационный маневр в сфере его действия, переводящий аппарат на траекторию полета к Нептуну. На втором этапе, состоящем из выхода на орбиту Нептуна, пролета Нереиды и выхода на орбиту Тритона, решается проблема обеспечения изучения с близкого расстояния обоих спутников. Показано, что при начальной массе аппарата 800 кг и длительности миссии 14.4 лет суммарные затраты рабочего тела составят не более 340 кг. Данные результаты получены с использованием ионной двигательной установки с удельным импульсом 6000 с и тягой 0.42Н. Наиболее перспективный сценарий включает пролет Нереиды на расстоянии 10 тыс. км и дальнейший перелет к Тритону с выходом на его орбиту. Также найдены возможные окна запуска, проведено сравнение по продолжительности перелета, суммарным энергетическим затратам и возможной массе аппарата.

#### **1.4. Разработка методики расширения достижимых для посадки областей поверхности небесных тел (планет и спутников) на основе использования резонансных орбит. Результат работы – расчет баллистических схем, позволяющих обеспечить посадку спускаемого аппарата в заданную область поверхности небесного тела**

При стандартном подходе к выбору окна старта и при наличии ограничений на величину угла входа спускаемого модуля в атмосферу, а также на максимально допустимую в процессе его спуска перегрузку значительная часть поверхности планеты оказывается недоступной для посадки. Простейшим способом расширения области посадки может быть увеличение окна старта за счет умеренного уменьшения массы полезной нагрузки. Однако возможности такого увеличения существенно ограничены, в первую очередь, требуемыми затратами характеристической скорости. В проведенном исследовании был предложен совершенно новый подход, позволяющий обеспечить посадку спускаемого модуля в любую точку поверхности Венеры.

Основой предлагаемого подхода является использование гравитационного поля планеты для перевода космического аппарата на гелиоцентрическую орбиту (рисунок 1.4.1), резонансную в соотношении 1:1 с орбитой Венеры, и последующего возвращения в исходное положение через один венерианский год, когда доступной для посадки окажется уже другая часть поверхности. Показано, что применение нового подхода позволяет обеспечить радикальное расширение достижимых областей посадки, а также обеспечить доступ к любой точке на поверхности Венеры за счет увеличения продолжительности перелета и небольшого увеличения затрат характеристической скорости.



*Рисунок 1.4.1 – Схема полета КА к Венере с промежуточным гравитационным маневром и витком полета по резонансной орбите (1:1).*

Было проведено моделирование траекторий полета в рамках разработанной методики и сравнение результатов с аналогичными, полученными для проектов «Венера-Д» (Роскосмос) и DAVINCI+(NASA). Исследование показало, что в случае использование гравитационного маневра даже для малых углов входа в атмосферу удастся достичь более половины ранее недоступных для посадки областей. Пример результатов моделирования приведен на рисунке 1.4.2, где показаны недоступные области для посадки (закрашены желтым) и продемонстрировано, что в целом в рамках всего окна запуска доступной для посадки может быть вся поверхность планеты.

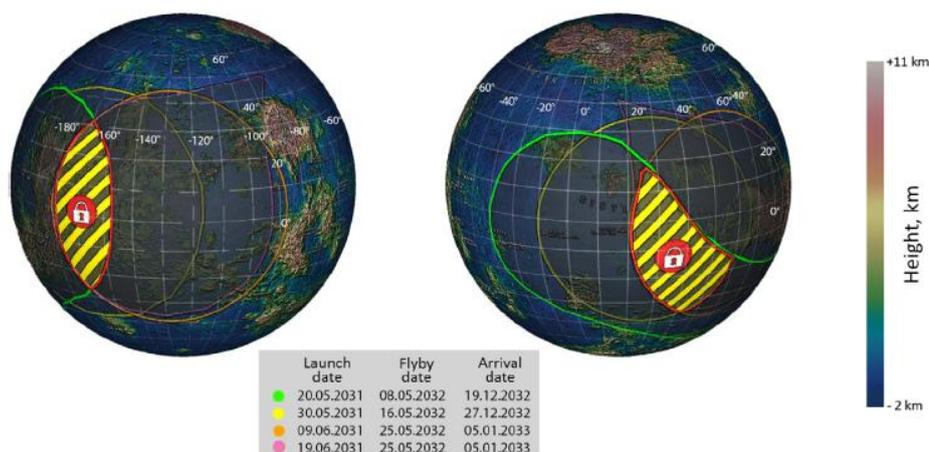


Рисунок 1.4.2 – Достижимые районы посадки (не заштрихованы) при полете к Венере с использованием промежуточного гравитационного маневра; ограничение на угол входа в атмосферу – 12 град.

**1.5 Системное исследование проблем оптимизации состава и параметров комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит. Результат: научно-технические исходные данные, метод оптимизации и управления параметрами комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит**

Для различных целевых окололунных орбит и схем миссий выполнена оценка достижимых значений массы грузов при использовании доступных в ближайшие 5-7 лет отечественных средств выведения и межорбитальной транспортировки. В том числе, учтены вопросы выполнения запусков по двухпусковым схемам, различия в затратах характеристической скорости ( $\Delta V$ ) на выполнение манёвров «входа» на целевые орбиты с траектории перелёта к Луне.

Сформированы предварительные рекомендации для выбора «высоких» окололунных орбит для пересадки экипажей между пилотируемым транспортным и лунным взлётно-посадочным кораблями с целью парировать дефицит  $\Delta V$ , который, в случае выбора «аполлоновской» схемы миссии, составляет для современных транспортных кораблей ~ 600 м/с.

**1.6 Исследование критических явлений и управление ими в сложных дискретных и распределенных системах переменной структуры. Результат: разработка методов поиска критических областей и управление ими с целью создания требуемых режимов функционирования природных и технических систем**

Впервые исследованы возможности неустойчивых колебаний жесткого блока на подвижном основании при действии случайного горизонтального ускорения основания, потерь энергии при соударении и влиянии фрактальной диссипации, гасящей эффект внешнего возбуждения. Предыдущие исследования рассматривали потерю устойчивости (падение) конструкции при действии внешнего возбуждения и потерь, линейно зависящих от скорости движения. Структура фрактальной (линейной) диссипации сложнее привычных потерь, линейно зависящих от скорости движения и импульса в момент соударения, но такой подход точнее учитывает связь параметров движения и вязкоупругих материалов блока.

Для упрощения, рассматривается динамика тонкого блока при слабом возбуждении и малой диссипации. При таких предположениях удастся рассмотреть линеаризованные уравнения виброударных колебаний блока как основной режим, на который наложены слабые диссипативные и случайные воздействия. Асимптотическая оценка вероятности перехода от устойчивых виброударных колебаний к падению блока строится с помощью стохастического метода Мельникова, учитывающего как шум, так и диссипативные потери энергии. Рассматривая верхнюю границу устойчивости как соотношение уровня шума и уровня диссипации, при которых наблюдается достижение границы виброударных колебаний, удастся оценить верхнюю границу устойчивости в зависимости от фрактальной диссипации. Полученные аналитические и численные результаты демонстрируют явную зависимость вероятности потери устойчивости от соотношения коэффициента диссипации, уровня возбуждения и параметров блока.

Отметим, что полученные результаты представляют интерес для практических приложений, в частности, как первое приближение для решения задач об управлении запуском космических аппаратов с помощью специальной конструкции.

### **1.7 Определение ориентации научного прибора эксперимента «Плазма-Ф» в солнечно-эклиптической системе и расчет направления солнечного ветра**

В ходе астрофизического эксперимента «Плазма-Ф» (на борту КА СПЕКТР-Р) проводилась обработка и архивация экспериментальных данных по определению ориентации научного прибора БМСВ в солнечно-эклиптической системе координат GSE.

Результаты, представленные в виде матриц перехода из систем КА и БМСВ в систему GSE, размещены на сервере [plasma-f.cosmos.ru](http://plasma-f.cosmos.ru). Эти данные используются для определения направления солнечного ветра и характеристик потока протонов в магнитослое Земли (MSH) в системе GSE.

Полностью выполнены работы по определению ориентации прибора БМСВ в областях магнитослоя, которые представляют особый интерес для физического анализа.

Совместно с сотрудниками лаборатории 821 продолжались работы по исследованию поведения потока частиц в областях MSH. Учет ориентации прибора БМСВ в этих областях позволил оценить поведение потока положительно заряженных ионов солнечного ветра, которое принципиально отличается от регулярного движения частиц в солнечном ветре.

Результаты исследования размещены на сервере plasma-f.cosmos.ru в виде графиков и цифровых файлов.

### 1.8 Предотвращение опасных термоакустических явлений путем воздействия на локальную динамику: зародыши фазы термоакустической неустойчивости

Термоакустическая нестабильность представляет собой серьезную опасность для газовых турбин, ракетных двигателей и других силовых установок. Например, срыв пламени авиационного газотурбинного двигателя во время полета очевидно опасен. Более того, это опасное явление может возникать при самых благих намерениях - эксплуатировать силовые установки в «более экологичных» условиях для снижения выбросов в атмосферу. Чтобы уменьшить эти выбросы необходимо снизить температуру пламени. Увеличение доли воздуха в топливе снижает температуру пламени. Однако, такой «экологический режим эксплуатации» часто приводит к возникновению термоакустической неустойчивости - высокоамплитудных периодических колебаний давления приводящих к выходу из строя двигателей.

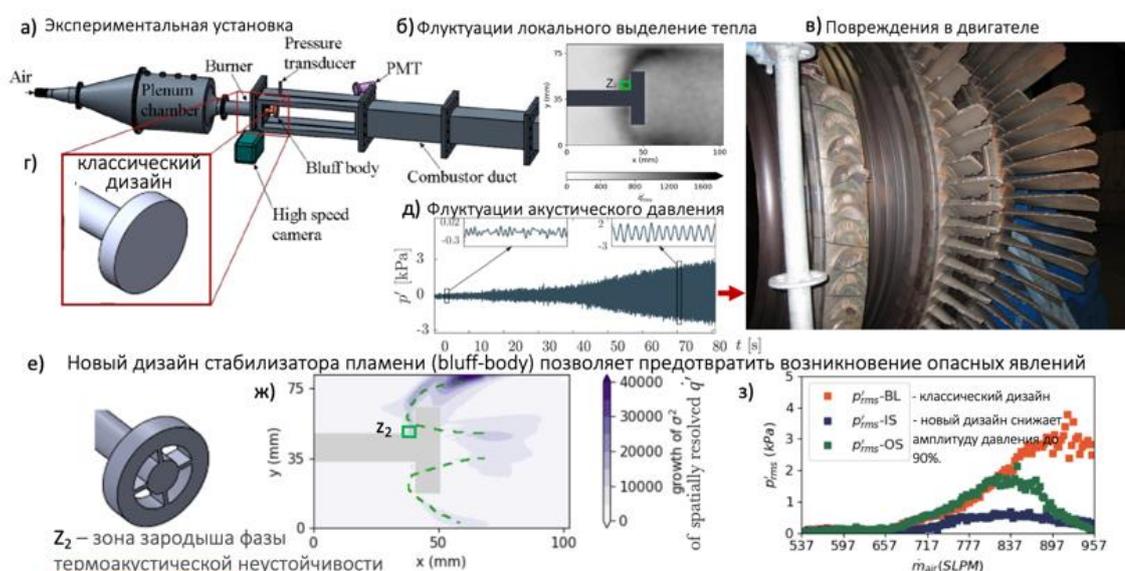


Рисунок 1.8.1 - Подавление термоакустической неустойчивости путем локализации зародышей фазы и их устранения

В работе представлен новый подход к решению этой проблемы. Предложена новая методология выявления критических зон в камере сгорания и установления критического порога при переходе к термоакустической неустойчивости. Выявлены критические области в камере сгорания - зародыши фазы термоакустической неустойчивости, где инициируются опасные явления. Полученные результаты позволили предложить способ эффективного подавления термоакустической неустойчивости путем разработки новой конструкции стабилизатора пламени, что может повысить безопасность и открывает возможности экологической эксплуатации силовых установок.

1. Nitin Babu George, Manikandan Raghunathan, VR Unni, RI Sujith, Jürgen Kurths, Elena Surovyatkina. Preventing a global transition to thermoacoustic instability by targeting local dynamics. *Nature Scientific Reports* 12 (1), 9305, 2022, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12951-6>

2. M Raghunathan, NB George, V R Unni, RI Sujith, J Kurths, E Surovyatkina. Seeds of phase transition to thermoacoustic instability, *New Journal of Physics*, Volume 24, 063008, June 2022, <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac71bb>

### 1.9 Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий

В течение отчетного периода продолжалась отработка технологий автоматизации поиска областей подготовки катастрофических землетрясений. В частности, для идентификации предвестников большую проблему составляет модуляция данных о полном электронном содержании вариациями солнечной и геомагнитной активности.

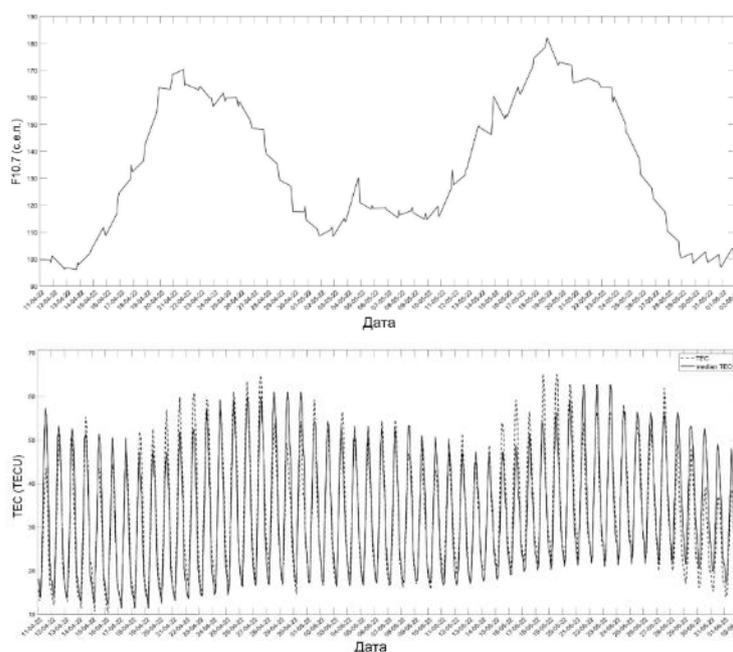


Рисунок 1.9.1 - Верхняя панель – индекс солнечно активности F10.7 за период 11 апреля – 2 июня 2022 г., нижняя панель – полное электронное содержание (ПЭС) – штриховая кривая и текущая медиана – сплошная линия.

Совершенно очевидна модуляция ПЭС вариациями солнечной активности. С целью удаления трендов вариаций ПЭС, связанных с вариациями солнечного потока  $F10.7$ , нами были разработаны два варианта нормализации графиков полного электронного содержания: нормализация на сам поток  $F10.7$  с задержкой на одни сутки и нормализация на глобальное электронное содержание ГЕС. Оба метода дают вполне удовлетворительные результаты, но на наш взгляд, использование нормализации по ГЕС является более предпочтительным по двум причинам: во-первых, отсутствует промежуточный агент и мы используем вариации ионосферы, уже претерпевшие влияние потока  $F10.7$ , и, во-вторых, анализ может проводиться даже в отсутствие доступа к данным о потоке  $F10.7$ . На рисунке 1.9.2 показан график ПЭС после нормализации.

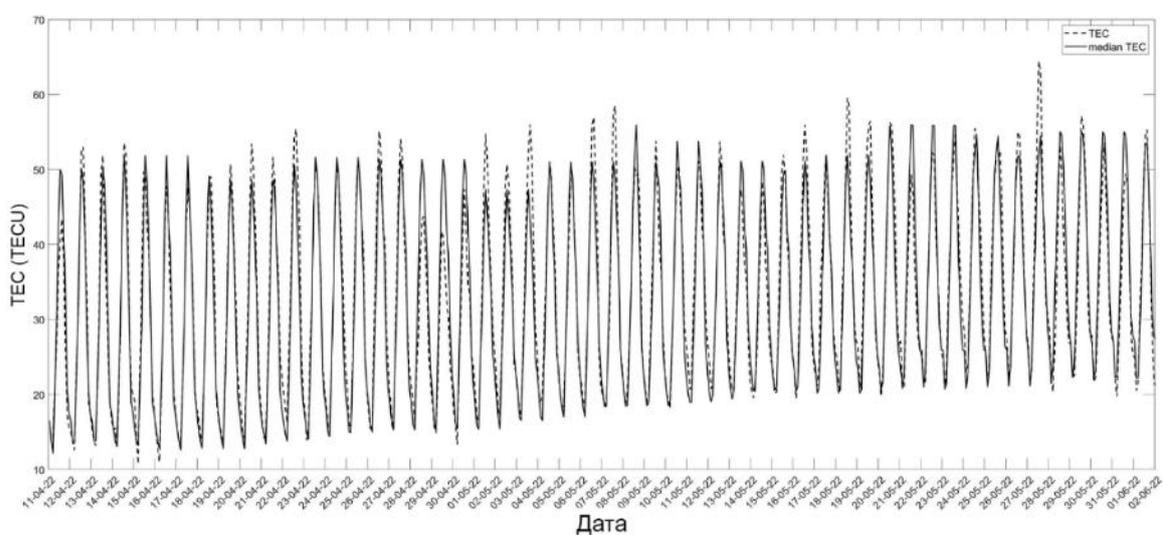


Рисунок 1.9.2 - График ПЭС после нормализации

Как видим, на рисунке 1.9.2 мы наблюдаем только положительный (сезонный) тренд ПЭС, а волновая структура практически устранена. Кроме того, график  $\Delta$ ТЕС в случае нормализации по ГЕС более адекватно отражает реакцию ионосферы на геомагнитные бури.

Второй важный результат получен для применения атмосферных предвестников землетрясений в виде поправки химического потенциала АСР. Несмотря на то, что был достигнут прогресс в построении глобальных и региональных карт АСР, поиск аномалий, реально соответствующих процессу подготовки землетрясений, представлял значительные трудности. В рамках кооперации с ученым из университета Любляны (Словения) была обнаружена высокая корреляция аномалий АСР с увеличением сдвигового напряжения в земной коре, глобальные карты которого строятся учеными из Любляны.

На верхней панели Рисунка 1.9.3 показан график корреляции сдвиговых напряжений земной коры и поправки химического потенциала в течение трех месяцев 2021 г., а на нижней панели приведены графики сдвиговых напряжений земной коры в области

эпицентра землетрясения с магнитудой 7.3 в Японии в районе Фукусимы 16 марта 2022 г. (красная кривая) и вариации АСР (синяя кривая). Видно, что кривые достигают максимум практически одновременно за 3 суток до землетрясения, момент которого отмечен вертикальной штриховой линией.

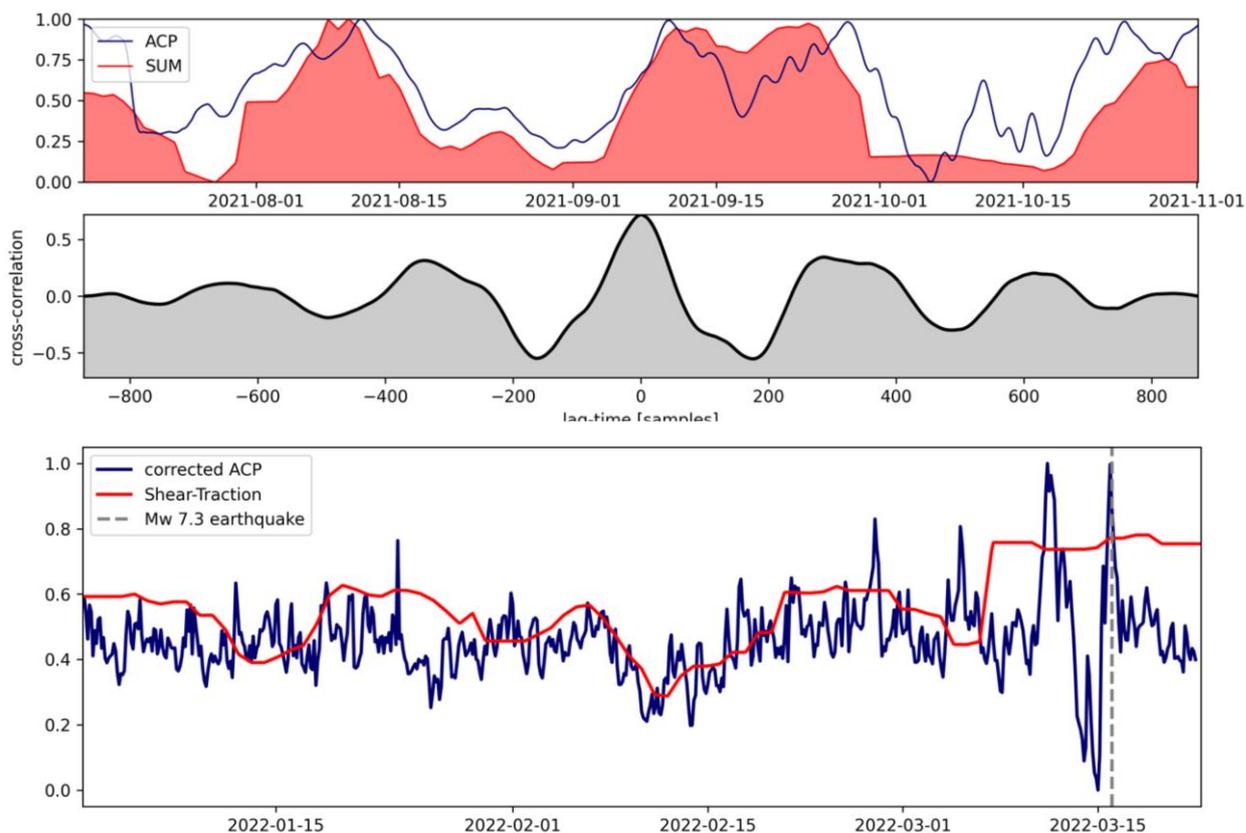


Рис 1.9.3. Верхняя панель - график корреляции сдвиговых напряжения земной коры и поправки химического потенциала в течение трех месяцев 2021 г., нижняя панель - графики сдвиговых напряжений земной коры в области эпицентра землетрясения с магнитудой 7.3 в Японии в районе Фукусимы 16 марта 2022 г. (красная кривая) и вариации АСР (синяя кривая).

## 1.10 Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов (МКЭ)

1. Была продолжена работа над задачей конечно-элементного моделирования полей напряжений и деформаций для оборудования космического аппарата. При работе с импортированной геометрией были выполнены основные операции сортировки геометрии по компонентам сборки, проверки модели на корректность (проверка наличия/отсутствия отдельных ребер, удаление дублирующихся поверхностей, проверка маппируемости тел и пр.), упрощение геометрии (удаление скруглений ребер и поверхностей, удаление мелких отверстий), создание срединных поверхностей, настройка правильной сшивки срединной

поверхности (продление граней к дну платформы, удаление мелких некорректных отверстий и проектирование отверстий с основной модели, продление граней в области отверстий), настройка симметрии, триммирование срединной поверхности, триммирование объемного тела (разделение на блоки для создания восьмиузловой или смешанной сетки, подготовка маппируемой трехмерной сетки и задание граничных условий. Точечные массы элементов приборов связаны через RBE-элементы с местами установки в платформе.

Таким образом, МКЭ-модель, подготовленная в HyperMesh, может быть передана в Nastran и рассчитана в рамках классического метода конечных элементов с использованием редукции методом Крейга-Бэмптона.

2. Введение математического аппарата для геометрического моделирования объектов сложной пространственной формы, восстанавливаемых NURBS-поверхностями по фасетной сетке замкнутой однородной оболочки; границы тел задаются неявно заданными функциями. Расчет НДС конструкции в ANSYS Workbench для сборочной единицы из одиннадцати тел, включая семь параметрических винтовых конструкций.

Был проведен расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) и оценка прогиба платформы статической системы взвешивания (четыре примера с оптимизацией конструкции). Примеры подготовлены на командном языке Patran PCL и APDL (ANSYS Mechanical). Получена принципиальная схема модели оптимизации конструкции. Проанализирована существующая система взвешивания автотранспорта и выявлены ее недостатки. Разработаны функциональная модель процесса оптимизации конструкции, математические модели и методы решения задачи, логический алгоритм одного из методов решения задачи. Проведен анализ предложенного решения в универсальной программной системе конечно-элементного анализа. При сравнении результатов расчетов было выяснено, что наилучшим вариантом решения задачи является вариант со сплошными металлическими укреплениями и учащенной арматурной сеткой в угловой зоне.

Ведется разработка программы для отображения реалистичных полигональных трехмерных моделей в интерактивных приложениях, выполняющихся в веб-браузерах с использованием технологии WebGL. Анализ моделей и примеров работы с трехмерной графикой на языках OpenGL и WebGL. Отладка программы для простейших моделей однородных многосвязных областей, подготовка моделей в Geomagic, добавление цвета модели в Blender и при импорте модели. В настоящий момент реализована визуализация фасетных моделей с большим числом степеней свободы во вьювере с режимом отображения в виде плеера (с использованием библиотеки Blend4Web). Проведена настройка теней, эффектов светового освещения, написаны функции выведения интерактивных подсказок на трехмерной модели.

## Раздел 2 Интеллект. Телекоммуникационные технологии

### 2.1 Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ РАН в сети Интернет

Обеспечивалось функционирование и развитие аппаратной, программной и информационной частей серверов телематических служб института, включая почтовый сервер, Web-сервер, серверов службы доменных имен (DNS), FTP-сервер (включая перевод к части данных на более безопасный протокол SFTP), облачное хранилище файлов на базе ПО Seafile.

Добавлена англоязычная часть официального веб-сайта института, выполненный на базе системы управления содержимым нового поколения (Dupal 9). Проводились дальнейшее развитие и оперативное обновление информации на веб-сайте института, а также были разработаны следующие новые сайты:

- Дни космической науки — 2022.
- Тринадцатый московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (13M-S3).
- Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе».
- XIX Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования".

### 2.2 Дальнейшее исследование и штатное внедрение технологий программно-определяемых параллельных и распределенных систем хранения, включающих механизмы повышенной надежности хранения, поддержку твердотельных накопителей в качестве промежуточного "кэширующего" уровня, а также средства интеграции в облачные инфраструктуры. Оценка экономической эффективности и технологических ограничений данных технологий. Выработка рекомендаций по их использованию

В течение 2022 года в порядке объективной необходимости форсирования процесса импортозамещения были проведены макетные исследования по переводу программно-аппаратного комплекса SCARP ИКИ РАН на российские программные компоненты. В результате макетирования была подтверждена возможность перевода программных подсистем ПАК SCARP на пакеты из состава российского дистрибутива Alt Linux (Базальт СПО) и расширенного программного репозитория Sisyphus, включая: контроллер пользовательского домена (FreeIPA), локальную масштабируемую файловую систему

(ZFS), программно определяемые системы хранения (CERN, GLUSTER), облачные контроллеры (PVE, OpenNebula). Полученные результаты были использованы при подготовке эскизного проекта совместного российско-китайского центра данных по лунным программам (JLDC). Система хранения ПАК SCARP была модернизирована установкой нового модуля хранения all-flash на 24 твердотельных диска.

### **2.3 Разработка концептуальных подходов построения информационных систем наземного сопровождению космических экспериментов**

За отчетный период на фоне работ по экспериментальной отработке ранее разработанных концептуальных подходов и методов осуществлялась разработка новых принципов по созданию масштабируемой территориально–распределенной архитектуре информационных систем наземного сопровождения космических экспериментов.

Отработка ранее разработанных подходов осуществлялась в рамках наземной поддержки реализации таких проектов как «ЭкзоМарс» (миссии 2016 года) и «Спектр-РГ». Следует отметить, что успешное выполнение работ по обеспечению реализации научной программы вышеупомянутых миссий средствами наземных научных комплексов демонстрирует правильность ранее предложенных методов.

Отдельно следует остановиться на разработке новой архитектуры наземных научных комплексов, базирующейся на принципах цифровой экосистемы, при которой различные сервисы системы взаимно дополняют друг друга.

Основной особенностью цифровых экосистем является ориентирование на пользователя системы. И как следствие - пользовательский доступ ко всем сервисам обеспечивается через единый аккаунт, доступ ко всем сервисам организован в унифицированной единообразной мультиканальной среде.

Для наземных научных комплексов (ННК) перспективных космических проектов предлагается использовать модель, которая состоит из следующих основных элементов:

- набора пользовательских сервисов, т.е. фактически средств, обеспечивающие целевой функционал системы;
- интеграционной платформа, представляющая собой программно-аппаратные средства, обеспечивающие технологическую платформу для интеграции пользовательских сервисов упомянутых выше в единую информационную среду экосистемы;
- центра координации, предоставляющего из себя группу специалистов, обладающих достаточным уровнем компетенции для изначальной настройки и последующей адаптации средств цифровой экосистемы к требованиям пользователей ННК.

Использование цифровых экосистем, в том числе и на модели аналогичной представленной выше, является одним из основных современных трендов, однако, в для информационных отечественных систем космических проектов этот подход предполагается впервые использовать в ННК проекта «Венера-Д».

#### 2.4. Применение ночных данных радиометра VIIRS (КА Suomi NPP и JPSS-1) для оценки объёмов сжигания попутного газа на факельных установках, характеристик естественных пожаров, искусственных высокотемпературных аномалий и вулканической деятельности, а также детектирования огней (освещения) рыболовных судов

На основе данных ночных наблюдений сенсора VIIRS спутника Suomi NPP (алгоритм VIIRS Nightfire) проведена корреляция с доступными ежемесячными открытыми данными региональных и национальных регуляторов, содержащих статистику по объёму сжигания попутного (нефтяного) газа на газовых факелах объектов нефтегазодобычи; в корреляцию вошли данные по федеральным округам России, штатам США, провинции Альберта (Канада), Бразилии, Великобритании, Мексике, Нигерии и Норвегии (рисунок 2.4.1).

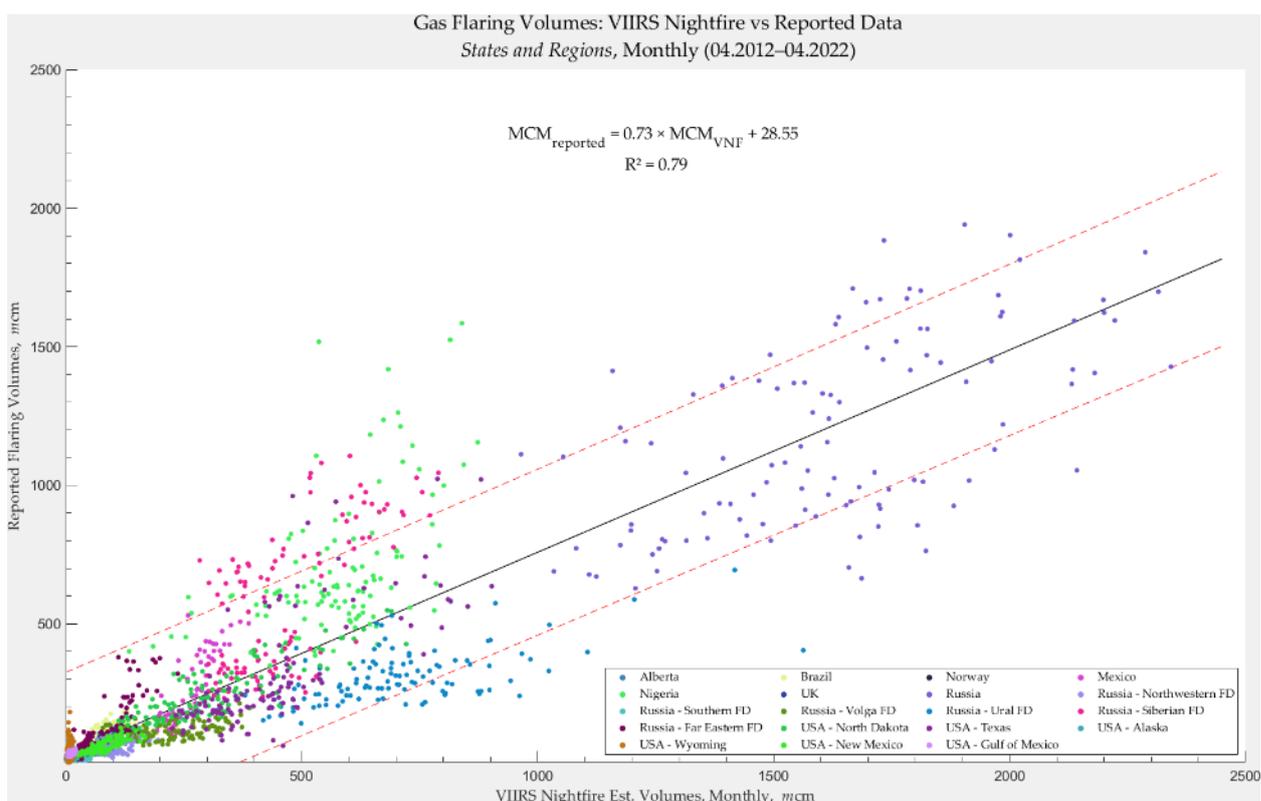


Рисунок 2.4.1. Корреляция оценок алгоритма VIIRS Nightfire с открытыми отчётными данными региональных и национальных регуляторов

На основе данных алгоритма VIIRS Nightfire, с привлечением данных популярных детекторов пожаров VIIRS Active Fire Data Product и MODIS C6 Active Fire Detection Algorithm, был проведён полуавтоматический анализ возможности оценки последствий

аварий на объектах нефтегазового комплекса, приведших к возгоранию или взрыву. Сгенерированные алгоритмами временные ряды были совмещены, проведена калибровка показателей энергии излучения и объёмов сжигания для оценки объёмов сгоревших углеводородов. На основании получившихся временных рядов было проанализировано несколько известных случаев аварий. По оценке Ростехнадзора, число возгораний и взрывов на объектах добычи и переработки углеводородов в России достигает 11–22 в год.

На рисунке 2.4.2 представлен пример применения разработанной методики для анализа последствий аварии на газоконденсатной скважине месторождении Булла-Дениз в Азербайджане, произошедшей в 2013 г. По существующим в СМИ оценкам нефтесервисной компании Halliburton [https://www.azernews.az/oil\\_and\\_gas/59052.html](https://www.azernews.az/oil_and_gas/59052.html), на начало сентября приходится сходные с полученными разработанной методикой оценки сгорающего на аварийной скважине газа (2,5–3 млн. м<sup>3</sup>).

Оперативность получения данных оценивается в пределах дня, вследствие чего методика не подходит для быстро ликвидированных аварий.



Рисунок 13.1.2. Оценка параметров горячей аварийной скважины на месторождении Булла-Дениз, шельф Каспийского моря, Азербайджан (39.8585° с. ш., 49.7921° в. д.), 17 августа — 24 октября 2013 г. (а): (1) Оценка средней температуры (K) горящего газа согласно VIIRS Nightfire и (2) оценка объёмов сгорающего газа на основе VIIRS Nightfire (жёлтый) и VIIRS Active Fire Product (пурпурный) в момент пролёта в млн. м<sup>3</sup> / день. (б). Подробный график усреднённых за день оценок сгорающего газа на аварийной скважине, с оценками среднего сжигания газа за весь период наблюдения и максимального наблюдения

## 2.5 Восстановление миниатюр и изображений с угасшим текстом (палимпсестов) из коллекции Государственного исторического музея с применением вариационного анализа и свёрточных нейронных сетей

Совместно с Отделом рукописей Государственного исторического музея (ГИМ) продолжаются работы по восстановлению миниатюр и изображений с угасшим текстом (палимпсестов) с применением мультиспектральной съёмки в ближнем УФ, видимом и ближнем ИК спектре ЭМ излучения (365–940 нм, шаг 40 нм).

На Рис. 2.5.1 представлен пример восстановления текста Греческого палимпсеста под Лекционарием IX–X в., хранящегося в архиве ГИМ. Текст греческого палимпсеста: 2r–2v — перикопы для 9-го воскресения и 10-й субботы по Пятидесятнице, текст Лекционария: л. 1–1v — перикопы 12-й субботы и воскресения по Пятидесятнице.

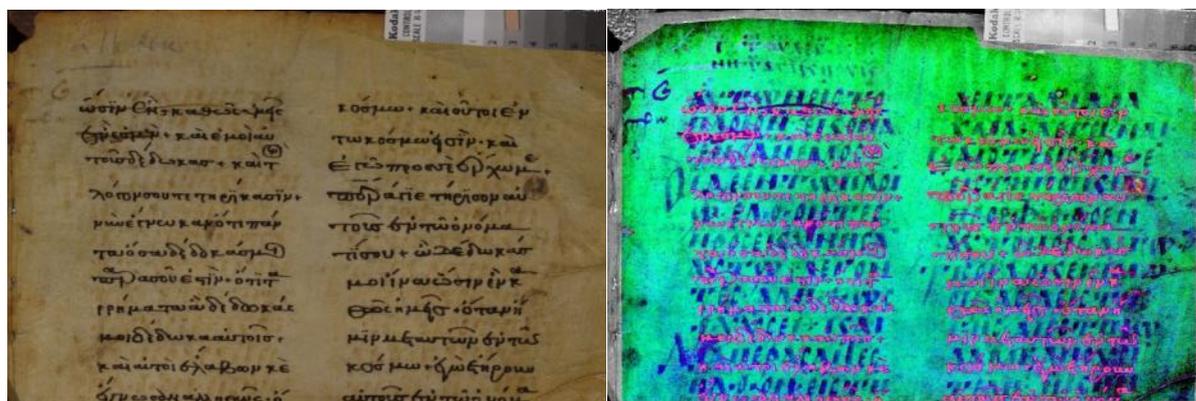


Рисунок 2.5.1. Исходное (слева) и обработанное (справа) изображение. ГИМ, Муз. II, 12. Греческий палимпсест (верхний текст, тёмно-синий). Лекционарий, конец IX–X в. (нижний текст, пурпурный)

На рисунке 2.5.2 представлен пример восстановления миниатюры из Хлудовской Псалтыри с помощью метода диффузионного совмещения видимого и УФ изображений.



Рисунок 2.5.2. Исходное (слева) и восстановленное при помощи метода диффузионного совмещения видимого и УФ изображений (справа) миниатюра. Хлудовская Псалтырь, Л. 82v., Воскресение Христова.

14 июля 2022 г. было объявлено, что в рамках работ по данному направлению лауреатами Премии ЦФО в области литературы и искусства за 2021 год стал авторский коллектив Исторического музея и Института космических исследований РАН «Естественнонаучные методы в изучении древних памятников Отдела рукописей ГИМ» в номинации «За создание проектов и произведений литературы и искусства» — за применение методов мультиспектральной фотосъемки для исследования древних рукописей. <http://cfo.gov.ru/news/51388/>

## 2.6 Теоретические исследования, связанные с применением квантовых нейронных сетей для перспективных квантовых бортовых систем искусственного интеллекта

В 2022м году проводились следующие исследования:

1) в области квантовых систем искусственного интеллекта проводились исследования, связанные с влиянием фононов на квантовые переходы в решеточных моделях.

2) в области квантовой теории поля и физики высоких энергий проводились следующие исследования:

Путем применения непрерывного вейвлет-преобразования к вычислению функций Грина в Евклидовой квантовой теории поля, в однопетлевом приближении исследовалась природа полюсов Ландау, возникающих при перенормировке константы связи. Показано, что полюса возникают в предположении дифференцируемой зависимости константы связи от масштаба, когда разностное уравнение, полученное в однопетлевом приближении, заменяется дифференциальным, а решение последнего приводит к возникновению полюса. В случае же непосредственного суммирования флуктуация всех масштабов, от размера системы до масштаба измерения, результат получается конечным и полюса не возникают.

3) в области космологии:

Представлена модель, показывающая, что наше четырехмерное пространство, обладающее сигнатурой Минковского  $(+,-,-,-)$  и почти исчезающей положительной кривизной, могло образоваться путем древовидного  $b$ -адического процесса деления одного дискретного объекта и пространство  $AdS_5$  может быть связано именно с этим процессом.

1. *M.V.Altaisky, N.E.Kaputkina, R.Raj, Multiresolution quantum field theory in light-front coordinates, International Journal of Theoretical Physics, 61 (2022) 46*

2. *M.V.Altaisky and R.Raj, Can our spacetime emerge from anti-de Sitter space? Physics of Particles and Nuclei Letters, 19 (2022) 313-316*

**2.7 Оценка и управление риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы. Продолжение исследования возможностей применения космических данных для улучшения оценок риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы: автоматизированное применение моделей рассеяния загрязнений ISC/AERMOD к оценке риска здоровью по российским исходным данным и космическим наблюдениям. Продолжение работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы предприятиями и транспортом**

### **1. Разработка и апробация методики оценки риска здоровью населения**

Методика оценки риска здоровью населения от загрязнения атмосферы с использованием моделей ISC/AERMOD, данных космических наблюдений и метеоданных была заложена в созданный нами программный комплекс ЕНПС.

Программный комплекс АERMOD содержит микрометеорологическую модель, основанную: а) на наблюдениях с местных метеорологических станций; б) альbedo,

параметре Боуэна (Bo) и шероховатости поверхности, рассчитанных для каждой категории землепользования на основе глобальных стандартов; в) данных о вертикальном профиле атмосферы, полученных с ближайшего радиозонда. Однако этих данных оказывается недостаточно для более точного расчета концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в районе промышленных предприятий и крупных автомагистралей. Данные космических наблюдений позволяют существенно уточнить значения параметров, в AERMOD, в частности, по п.б) и, тем самым, повысить точность расчета концентраций загрязнителей и, в конечном счете, эффективность оценки и управления риском здоровья населения. Результаты определения концентраций загрязнителей используются для расчета риска заболеваемости населения.

Расчет риска заболеваемости сводится к расчетам двух его типов: индивидуального канцерогенного риска и неканцерогенного.

#### *Индивидуальный канцерогенный риск*

Индивидуальный дополнительный (атрибутивный) канцерогенный риск  $R$  при воздействии атмосферных загрязнителей в течение всей жизни рассчитывается с учетом трех основных факторов: ингаляции среднесуточной дозы  $C_{сд}$ , т. е. вероятности того, что конкретное химическое соединение провоцирует образование опухоли (т.н. «фактор канцерогенного потенциала»)  $F_n$  и продолжительности воздействия  $T_v$ . Таким образом, расчет ИКР сводится к формуле:

$$R = C_{сд} \cdot F_n \cdot T_v. \quad (1)$$

В свою очередь, параметры, входящие в (1) определяются следующим образом:

$$C_{сд} = \frac{C_k \cdot C_d}{P_c}, \quad (2)$$

где  $C_k$  – среднегодовая концентрация загрязнителя,  $C_d$  - средний суточный объем дыхания взрослого человека, равный  $20 \text{ м}^3/\text{сутки}$ ,  $P_c$  - средний вес тела человека –  $70 \text{ кг}$ ;  $F_n$  - фактор потенциала при ингаляционном воздействии химического вещества ( $\text{мг}/\text{кг}\text{-день}$ )<sup>-1</sup>. Величина  $F_n$  меняется в пределах от  $0,029 (\text{мг}/\text{кг}\text{-день})^{-1}$  - бензол до  $7,3 (\text{мг}/\text{кг}\text{-день})^{-1}$  - бенз(а)пирен.  $T_v$  - величина, отражающая количество лет, в течение которых индивидуум подвергается воздействию. В расчетах часто полагают  $T_v = 1$ . Используя формулы (1) и (2), а также приведенные выше данные для фактора потенциала можно рассчитать значения индивидуального канцерогенного риска для людей, проживающих в заданном регионе.

#### *Неканцерогенные риски*

Для веществ, не обладающих канцерогенным действием, оценка риска производится на основе расчета индекса опасности  $H$ , представляющего собой соотношение между

величиной экспозиции (например, суточной дозой -  $C_{сд}$ ) и безопасным уровнем воздействия (например, предельно допустимая концентрация – ПДК).

$$H = \frac{C_{сд}}{ПДК}. \quad (3)$$

Чем больше величина  $H$  превосходит единицу, тем большую опасность представляет воздействие анализируемого вещества.

## 2. Управление риском заболеваемости населения

Поскольку риски линейно зависят от концентраций загрязнителей атмосферного воздуха, управление рисками, таким образом, сводится к управлению концентрациями через управление выбросами. Оно может реализовываться посредством следующих мероприятий: закрытие предприятия-источник выбросов, фильтрация источников, конструкция предприятия.

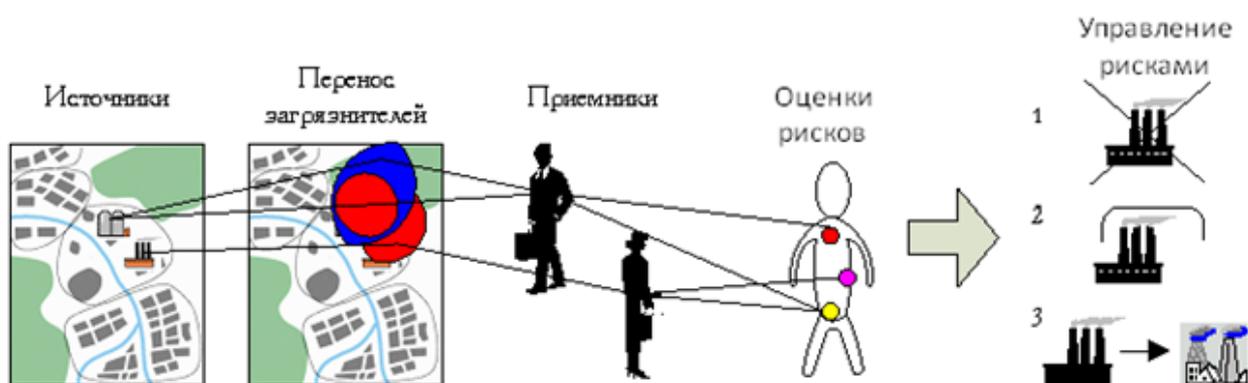


Рис. 2.7.1 - Общая схема расположения источников, распространения загрязнителей, оценки риска и управления риском.

### Процедуры имитации управления риском

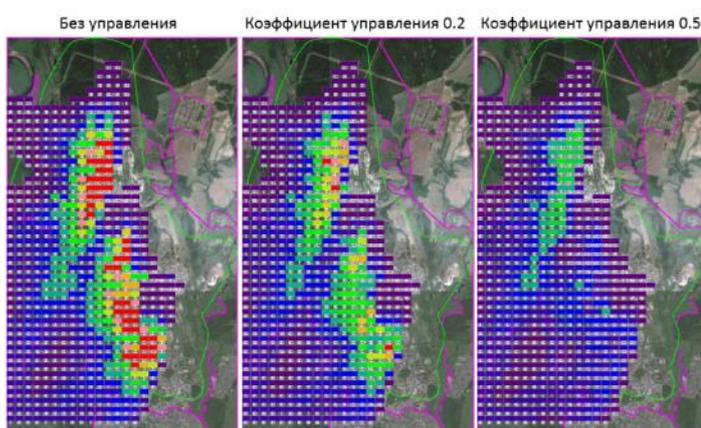
1. Рассчитывается ожидаемая концентрация  $C(t)$ , которая сравнивается со средней концентрацией в некотором месте, наиболее уязвимом для рассматриваемой территории.
2. Выброс  $M(t)$  адаптируется, т.е. когда метеоусловия неблагоприятные он снижается, а когда благоприятные – выброс можно сделать больше.
3. Главный параметр управления – коэффициент усиления в петлеобратной связи  $K$ .

Величина выброса рассчитывается по формуле:  $M(t) = M + M \cdot K \left[ 1 - \frac{C(t)}{C_{сп}} \right]$ , где  $M$  – совокупный выброс, г/сек,  $C$  – концентрация, мг/м<sup>3</sup>,  $K$  – коэффициент усиления управления.

В экспериментах задавались два значения  $K$ : 0,2 и 0,5. Коэффициент  $K$  характеризует силу обратной связи, насколько сильно уменьшается выброс, когда ожидается повышенная концентрация загрязнителя.

*Вычислительные эксперименты по имитации управления выбросом крупного промузла на примере Уфимского нефтеперерабатывающего завода*

Производится индивидуальное управление выбросами каждого источника, но по модели управления концентрациями в одной, наиболее критичной точке. Средняя концентрация  $C_1 - C_{19}$  за 01.01 – 05.01 по выбросам в г/с. Управление выбросом каждого источника индивидуально по концентрациям в кл. 559.



*Рис. 2.7.2 - Эффект управления концентрациями загрязнителей в зависимости от величины коэффициента управления  $K$ . Красным цветом обозначены концентрации, большие допустимого предела, желтым  $> 0.5$  предела, зеленым  $> 0.2$  предела, голубым  $> 0.1$  предела, меньше – фиолетовым.*

## Раздел 3 КОСМОС

### 3.1 Разработка и внедрение обобщенной отказоустойчивой и масштабируемой архитектуры для территориально распределенной проектно-ориентированной сети в рамках поддержки научных наземных комплексов для сопровождения космических экспериментов

В 2022 году был доработан инструментарий статистической идентификации сетевых атак, применяемый в научной сети «Космос», произведено уточнение пороговых весовых коэффициентов. В течение 2022 года с помощью статистического анализатора, основанного на методике восходящего адаптивного агрегирования, было выявлено и нивелировано несколько десятков попыток сетевых атак на ИКИ РАН и организации-партнеры. Особенностью анализатора является низкое потребление вычислительных ресурсов за счет эффективного специализированного алгоритма кластеризации данных сетевого трафика. В частности, для обработки текущего трафика сети «КОСМОС» достаточно производительности одного ядра современного процессора. В системе сетевого управления сети «Космос» был разработан модуль оперативного выявления и блокировки аномальной внутренней сетевой активности.

```
Mon Jul 4 15:04:23 2022
```

| Time     | Type | Link  | Proto | Local IP:Port     | DIR | Remote IP:Port      | In Flws  | Out Flws |
|----------|------|-------|-------|-------------------|-----|---------------------|----------|----------|
| 14:59:46 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.81 K  | 3.46 K   |
| 14:58:11 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.13 K  | 3.41 K   |
| 14:45:36 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.26 K  | 3.00 K   |
| 14:44:03 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.06 K  | 2.86 K   |
| 14:40:56 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.53 K  | 2.83 K   |
| 14:36:12 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 68.12 K  | 3.10 K   |
| 14:34:41 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.33 K  | 2.95 K   |
| 14:33:02 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.28 K  | 3.24 K   |
| 14:28:21 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.59 K  | 3.34 K   |
| 14:26:46 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.35 K  | 3.29 K   |
| 14:25:12 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 68.82 K  | 2.63 K   |
| 14:23:37 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.67 K  | 3.25 K   |
| 14:22:04 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.77 K  | 3.11 K   |
| 14:20:28 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.89 K  | 2.81 K   |
| 14:17:21 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.76 K  | 2.91 K   |
| 14:14:10 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.53 K  | 2.27 K   |
| 14:12:34 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 65.75 K  | 3.69 K   |
| 14:09:24 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.15 K  | 3.43 K   |
| 14:07:50 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 69.45 K  | 3.44 K   |
| 14:07:04 | DDOS | 00-00 | udp   | 195.170.224.86:53 | <<< | 0.0.0.0:0           | 561.80 K | 43.95 K  |
| 14:05:28 | DDOS | 00-00 | udp   | 195.170.224.86:53 | <<< | 0.0.0.0:0           | 691.21 K | 65.16 K  |
| 14:04:45 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.17 K  | 3.01 K   |
| 14:03:21 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.09 K  | 3.24 K   |
| 14:02:02 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 64.61 K  | 3.80 K   |
| 14:00:27 | SCAN | 00-00 | tcp   | 0.0.0.0:0         | <<< | 185.156.74.81:48968 | 66.18 K  | 3.73 K   |

Color scheme: LOW/NORMAL MEDIUM/ATTENTION HIGH/CRITICAL

Рисунок 3.1.1 - Пример работы системы обнаружения атак DDOS (красные строки) и сканирований (желтые строки) сетей ИКИ РАН.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2022 г. по теме «Управление: Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов». По результатам этих исследований сотрудниками ИКИ РАН в 2022 г. было опубликовано 90 научных публикаций. Из них опубликовано:

- статьи в зарубежных изданиях - 19
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 6
- монография - 1
- статьи в сборниках материалов конференций - 12
- доклады, тезисы, циркуляры - 52
- публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными – 12

**Механика 2.3.1.1. Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем**

### **Наиболее значимые результаты**

#### **Баллистическое проектирование перелета к транснептуновому объекту Седна**

Проводился анализ баллистических схем перелета к транснептуновому объекту (90377) Седна, наблюдение которого с близкого расстояния обладает огромной научной значимостью и может предоставить уникальные данные о ранних этапах эволюции Солнечной системы. Перелет к Седне уже рассматривался ранее зарубежными учеными, однако результаты настоящего исследования позволили обнаружить новые возможные схемы перелета, включающие гравитационные маневры у Венеры, Земли, Юпитера и Нептуна и обладающие значительными преимуществами как с точки зрения энергетических затрат, так и по продолжительности перелета [1, 2].

Также был проведен целый ряд дополнительных исследований, в том числе оценивалась максимальная конечная масса космического аппарата, доставляемого к Седне, исследовались схемы полета с разделением КА в перицентре пролетной траектории у Юпитера и Нептуна с последующим достижением одновременно двух целей – Седны и иного транснептунового объекта.

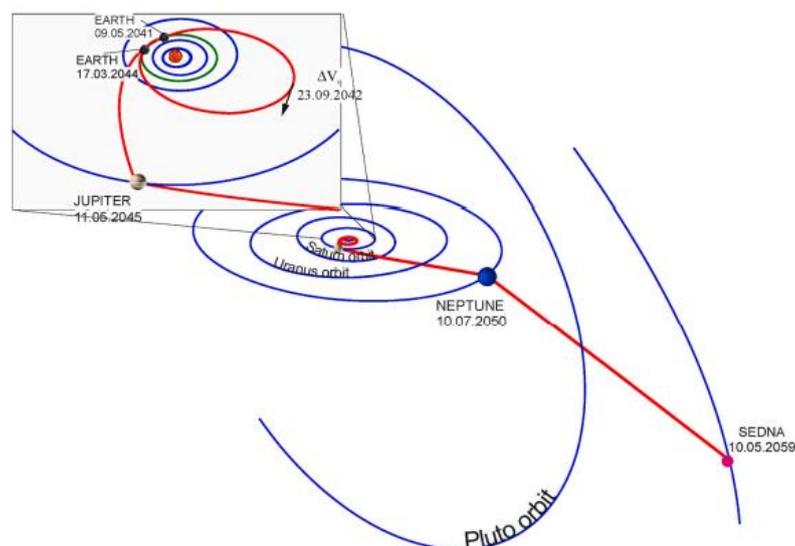


Рисунок 1 - Схема перелета к Седне с гравитационными маневрами у Земли, Юпитера и Нептуна при старте в 2041 году (длительность полета 18 лет).

Полученные результаты вызвали большой интерес, освещались в российской и зарубежной прессе [3].

1. Zubko, V. (2022). *The fastest routes of approach to dwarf planet Sedna for study its surface and composition at the close range.* // *Acta Astronautica*, 192, 47-67. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.12.011> (SJR=1, IF = 2.954, Q1, [Scopus, Web of Science])

2. *Optimal flight trajectories to trans-Neptunian object (90377) Sedna* / V. A. Zubko, A. A. Sukhanov, K. S. Fedyaev [et al.] // *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, C1, IAF Astrodynamics Symposium: Dubai, October 25–29, 2021.* – Dubai, 2021, pp. 177585 (ISSN 00741795) <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85127751184&origin=resultslist&sort=plf-f> (Scopus).

3. *Седна или никогда: российские ученые предложили отправиться к планете Седна в 2029 году* // *Московский комсомолец*, 21.01.2022, № 28708. <https://www.mk.ru/science/2022/01/19/rossiyskie-uchenye-predlozhili-otpravitsya-k-planete-sedna-v-2029-godu.html>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Публикации по теме УПРАВЛЕНИЕ

#### Статьи в зарубежных изданиях:

1. Jingfang Fan, Jun Meng, Josef Ludescher, Zhaoyuan Li, Elena Surovyatkina, Xiaosong Chen, Jürgen Kurths, Hans Joachim Schellnhuber. Network-Based Approach and Climate Change Benefits for Forecasting the Amount of Indian Monsoon Rainfall. *Journal of Climate*, Feb 2022, P. 1009–1020 <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/35/3/JCLI-D-21-0063.1.xml> <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0063.1> (IF=5.380, Q1) (PФФИ)
2. N.B. George, M. Raghunathan, V.R. Unni, R.I. Sujith, J. Kurths, E. Surovyatkina. Preventing a global transition to thermoacoustic instability by targeting local dynamics. *Nature Scientific Reports* 12 (1), 9305, 2022, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12951-6> <https://www.nature.com/articles/s41598-022-12951-6> (IF=4,996, Q1)
3. Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Keith, D.; Miller, S.D.; Hsu, F.C.; Ghosh, T.; Anderson, S.J.; Monrad, C.K.; Bazilian, M.; Taneja, J.; et al. The VIIRS Day/Night Band: A Flicker Meter in Space? *Remote Sens.* 2022, 14, 1316. <https://doi.org/10.3390/rs14061316> (IF=4.848, Q1)
4. Ghosh, T.; Baugh, K.E.; Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Poyda, A.; Hsu, F.-C. Extending the DMSP Nighttime Lights Time Series beyond 2013. *Remote Sens.* 2021, 13, 5004. <https://doi.org/10.3390/rs13245004> (IF=4.848, Q1) (не попала в отчет за 2021)
5. Adil M. A., Pulinets S. A., Şentürk E., Abbasi A. R., Budnikov P., GNSS atmosphere seismology for equatorial earthquakes: a case study from Central America, *GPS Solutions*, 26:112, 2022 <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01300-9> (IF=4,397, Q1)
6. A. Kovaleva. The Melnikov criterion of instability for random rocking of a rigid block with a fractional derivative element. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 436, 133326 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.physd.2022.133326> (IF=3,751, Q1)
7. Suchithra K. S., Gopalakrishnan E. A., Jürgen Kurths, and E. Surovyatkina. Emergency rate-driven control for rotor angle instability in power systems. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 32 (6), 061102, <https://doi.org/10.1063/5.0093450>, <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0093450> (IF=3.741, Q1) (PФФИ)
8. M. Raghunathan, N.B. George, V.R. Unni, R.I. Sujith, J. Kurths, E. Surovyatkina. Seeds of phase transition to thermoacoustic instability, *New Journal of Physics*, Volume 24, 063008, June 2022, <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac71bb> <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/ac71bb/meta> (IF=3.716, Q1) (PФФИ)

9. Elvidge C.D.; Baugh K.; Ghosh T.; Zhizhin M.; Hsu F.C.; Sparks T.; Bazilian M.; Sutton P.C.; Houghton K.; Goldblatt R. Fifty years of nightly global low-light imaging satellite observations. *Front. Remote Sens.*, 2022. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.919937> **(IF=3,661, Q1)**
10. A. Kovaleva. The Melnikov criterion of instability for a fractionally damped rigid block with noise-induced response enhancement. *Probabilistic Engineering Mechanics*, vol. 68, 103216 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.probenmech.2022.103216> **(IF=2,954, Q1)**
11. Zubko V. (2022). The fastest routes of approach to dwarf planet Sedna for study its surface and composition at the close range. *Acta Astronautica*, 192, 47-67. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.12.011> **(IF = 2.954, Q1, SJR=1)**
12. Eismont N., Zubko V., Belyaev A., Fedyaev K., Zasova L., Gorinov D., Simonov A. & Nazirov, R. (2022). Expansion of landing areas on the Venus surface by using resonant orbits in the Venera-D project. *Acta Astronautica*, 197, 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.03.014> **(IF = 2.954, Q1, SJR=1)**
13. Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Hsu, F.C.; Sparks, T.; Ghosh, T. Subpixel Analysis of Primary and Secondary Infrared Emitters with Nighttime VIIRS Data. *Fire* 2021, 4, 83. <https://doi.org/10.3390/fire4040083> **(IF=2,726, Q1)** (не попала в отчет за 2021)
14. Pulinets S.; Budnikov P. Atmosphere Critical Processes Sensing with ACP. *Atmosphere* 2022, Volume 13, Issue 11, <https://doi.org/10.3390/atmos13111920> **(IF=3,110, Q2)**
15. Nina A., Biagi P. F., Pulinets S., Nico G., Mitrović S.T., Čadež V.M., Radovanović M., Urošev M., Popović L.Č., Variation of the VLF signal noise amplitude during the period of intense seismic activity in Central Italy from 25 October to 3 November 2016, *Frontier in Environmental Studies*, 2022, DOI 10.3389/fenvs.2022.1005575 **(IF=3,498, Q2, SJR)**
16. Pulinets S.A., Khegai V.V., Legen'ka A.D., and Korsunova L.P., New Parameter for Analysis of Ionospheric Disturbances and the Search for Ionospheric Precursors of Earthquakes Based on Barbier's Formula, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2022, Vol. 62, No. 3, pp. 255–262, DOI: 10.1134/S001679322203015X **(IF=0,844, Q3)**
17. M.V.Altaisky, N.E.Kaputkina, R.Raj, Multiresolution quantum field theory in light-front coordinates, *International Journal of Theoretical Physics*, 61, 46 (2022) DOI: 10.1007/s10773-022-05029-6 **(IF=1,308, Q3)**
18. M.V.Altaisky and R.Raj, Can our spacetime emerge from anti-de Sitter space? *Physics of Particles and Nuclei Letters*, **19** (2022), 313-316 <https://doi.org/10.1134/S1547477122040033> **(SJR=0,24, Q3)**
19. Pulinets, S. (2022). Thermodynamic Instability of the Atmospheric Boundary Layer as a Precursor of an Earthquake. In: Brenig, L., Brilliantov, N., Tlidi, M. (eds)

Nonequilibrium Thermodynamics and Fluctuation Kinetics. Fundamental Theories of Physics, vol 208. Springer, Cham. pp. 313-323 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8_16)

### **Монография в издательстве Springer:**

20. Pulinets, S.; Ouzounov, D.; Karelin, A.; Boyarchuk, K. Earthquake Precursors in the Atmosphere and Ionosphere; Springer Nature: Berlin/Heidelberg, Germany, 2022; 312p.

### **Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:**

21. Назиров Р. Р., Эйсмонт Н. А., Зубко В. А., Беляев А. А., Федяев К. С., Засова Л. В., Горинов Д. А., Симонов А. В., Корянов В. В. Расширение возможных областей посадки на поверхности Венеры с использованием гравитационного маневра // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. - 2022. - № 2. - С. 20-42. (ВАК, ИФ РИНЦ = 0,372) [10.18698/0236-3941-2022-2-20-42](https://doi.org/10.18698/0236-3941-2022-2-20-42)
22. М.В.Алтайский, Р.Радж, Может ли наше пространство-время происходить из пространства анти-де Ситтера? *Письма в ЭЧАЯ*, 19 (2022) 223-229 <http://www.jinr.ru/posts/obzor-zhurnala-pisma-v-echaya-4-2022-g/> (ВАК, ИФ РИНЦ = 0,359)
23. Михайлов Е.А., Аксенов С.А., Заславский Г.С., Мжельский П.В., Погодин А.В., МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕРИИ “БОЛЬШИХ” КОРРЕКЦИЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА КА “СПЕКТР-РГ” ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО РАДИОВИДИМОСТИ, Письма в Астрономический журнал. 2022. Т. 48. № 1. С. 61-74 DOI: 10.31857/S0320010822010065 (ИФ РИНЦ = 1.774, SJR=0.432, ИФ = 1.194, Q3, [Scopus, Web of Science])
24. Зубко В.А. Возможные траектории полета к Венере с посадкой в заданном регионе / Зубко В.А. // Письма в Астрономический журнал. – 2022. – Т. 48. – № 12. – С. 1-14. – DOI 10.31857/S0320010822110134. (ИФ РИНЦ = 1.774, SJR=0.432, ИФ = 1.194, Q3, [Scopus, Web of Science])
25. Эйсмонт Н.А. Существует ли девятая планета? Земля и Вселенная, №2, 2022, стр. 20-29 (ИФ РИНЦ = 0,096)
26. Назаров В.Н., Земные будни космической обсерватории. Земля и Вселенная, 4/2022 (ИФ РИНЦ = 0,096)

### Статьи в сборниках материалов конференций:

27. Eismont, N., Kovalenko, I., Nazarov, V., Korotkov, F., Pupkov, M., Zubko, V., Poghodin A., Mzhelskiy P., Mikhailov E., Ditrikh A., & Tregubov, A. (2022) Orbital and Attitude Control of Spectr-RG Observatory Under Technical Constraints // Space Operations. Springer, 2022. С. 541–558. DOI: 10.1007/978-3-030-94628-9\_24, ISBN: 978-3-030-94628-9 (**Scopus, Web of Science**)
28. Pulinets, S.; Vičić, B.; Budnikov, P.; Potočnik, M.; Dolenc, M.; Žalohar, J. Correlation between Shear-Traction field and Atmospheric Chemical Potential as a tool for earthquake forecasting. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Bucharest, Romania, 4–9 September 2022. Editura Conspress Publ., ISBN 978-973-100-533-1, pp. 3623-3627
29. Беляев, А. А. Баллистическое проектирование траектории перелета к Ганимеду с определением возможных областей посадки / А. А. Беляев, В. А. Зубко, В. В. Корянов // Будущее машиностроения России : Сборник докладов Четырнадцатой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. В 2-х томах, Москва, 21–24 сентября 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022. – С. 169-177. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48575366> (**РИНЦ**)
30. Зубко, В. А. Исследование гравитационного маневра в задаче полета к Седне в 2029 году / В. А. Зубко, А. А. Беляев // Будущее машиностроения России : Сборник докладов Четырнадцатой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. В 2-х томах, Москва, 21–24 сентября 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022. – С. 177-182. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48575367> (**РИНЦ**)
31. Surovyatkina, E.: Long-Range Forecast for the Navigation Season: linking the Northern Sea Route and Maritime Silk Road, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-6572, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-6572> ,
32. Полякова Т.В. Некоторые аспекты автоматизации установки временных внутрикостных имплантатов при концевом дефекте зубного ряда // Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики». 7-10 декабря 2021. Материалы конференции. В двух частях. Часть 2. Инженерный журнал: наука и инновации, №6, 2022. 275 с. С. 171-172.
33. Poliakova, T., Gavriushin, S., Arutyunov, S. Virtual Simulation of the Surgery of Installing Transitional Implant Dentures for the Two-Stage Dental Implant Osteointegration Period. In:

- Hu, Z., Wang, B., Petoukhov, S., He, M. (eds) *Advances in Artificial Systems for Power Engineering II. AIPE 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 119. Springer, Cham. (2022) [https://doi.org/10.1007/978-3-030-97064-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-97064-2_18) 14 p.
34. Optimal flight trajectories to trans-Neptunian object (90377) Sedna / V. A. Zubko, A. A. Sukhanov, K. S. Fedyaev [et al.] // *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, C1, IAF Astrodynamics Symposium : Dubai, 25–29 октября 2021 года. – Dubai, 2021, pp. 177585 (ISSN 00741795) <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85127751184&origin=resultslist&sort=plf-f> (Scopus) – (не попала в отчет за 2021)*
35. Zubko, V. A. Flight trajectories determination and analysis to the trans-Neptunian object 2012 VP113 in 2026 / V. A. Zubko, A. A. Belyaev // *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, E2, 49TH STUDENT CONFERENCE : Dubai, 25–29 октября 2021 года. – Dubai, 2021, pp. 177600. (ISSN 00741795) <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85127612492&origin=resultslist&sort=plf-f> (Scopus) – не попала в отчет за 2021 год*
36. Зарубин Д.С., Элементы методики разработки космических программ освоения Луны в современных условиях, Королёвские чтения, 25-28.01.2022, Москва, <https://bmstu.press/catalog/item/7556/download/>
37. Зарубин Д.С., Некоторые проектно-баллистические вопросы разработки современных программ исследования и освоения Луны, Циолковские чтения, 20-22.09.2022, Калуга, [https://readings.gmik.ru/abstracts\\_2022\\_part\\_1.pdf](https://readings.gmik.ru/abstracts_2022_part_1.pdf)
38. А.А.Петрукович, Л.М.Зелёный, И.Г.Митрофанов, В.И.Третьяков, Д.С.Зарубин, The international lunar research station from science perspective, Тринадцатый Международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (13M-S3), 10-14.10.2022, Москва, [https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3\\_BOOK\\_18-10-221.pdf](https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3_BOOK_18-10-221.pdf)

#### **Доклады, тезисы, циркуляры:**

39. Расширение доступных областей посадки на поверхности Венеры с помощью гравитационного маневра / Н. А. Эйсмонт, В. А. Зубко, А. А. Беляев [и др.] // «Фундаментальные и прикладные задачи механики», Москва, 7–10 декабря 2021 г, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия. – С. 309-310 (2022) DOI: 10.18698/2308-6033-2022-5-2182 <http://engjournal.ru/articles/2182/2182.pdf>
40. Анализ схем перелета к транснептуновому объекту (90377) Седна / В. А. Зубко, А. А. Суханов, А. А. Беляев [и др.] // XLVI Академические чтения по космонавтике : Сборник тезисов, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся

- отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. В 4-х томах, Москва, 25–28 января 2022 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – С. 44-47. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49222019>
41. Расширение областей посадки на поверхности Венеры с использованием резонансной орбиты / В. А. Зубко, Н. А. Эйсмонт, А. А. Беляев [и др.] // XLVI Академические чтения по космонавтике: Сборник тезисов, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства. В 4-х томах, Москва, 25–28 января 2022 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022. – С. 338-340. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49502823>
42. Исследование возможностей использования космического аппарата, находящегося в окрестности точки либрации, для наблюдения потенциально опасных астероидов, М.В. Пупков, Н.А. Эйсмонт, К.С. Федяев, В.А. Зубко, В.В. Корянов // XLVI Академические чтения по космонавтике: Сборник тезисов, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства. В 4-х томах, Москва, 25–28 января 2022 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022. – Т.3., С. 121-123. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49222045>
43. Expansion of landing areas on the surface of Venus using the gravity assist maneuver/ V. Zubko, N. Eismont, A. Belyaev, K. Fedyayev, L. Zasova, D. Gorinov, A. Simonov // COSPAR 2022, 44<sup>th</sup> scientific assembly, B4.1: Venus Science and Exploration. 16 - 24 July, 2022, Athens, Greece. [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=1013](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=1013)
44. Possible space mission concepts to the trans-Neptunian object (90377) Sedna / V. A. Zubko, A. A. Sukhanov, K. S. Fedyayev, V.V. Koryanov, A.A. Belyaev // COSPAR 2022, 44<sup>th</sup> scientific assembly, B1.1: Small Body Exploration Sciences: From the Solar System to Interstellar Objects. 16 - 24 July, 2022, Athens, Greece. [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=1007](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=1007)
45. Discussion of possible flight schemes to Neptune's moons Triton and Nereid / N. Simbirev, N. Eismont, A. Sukhanov, V. Zubko, K. Fedyayev // COSPAR 2022, 44<sup>th</sup> scientific assembly, B5.2: Giant Planets and their Systems. 16 - 24 July, 2022, Athens, Greece. B5.2-0019-22. [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=1019](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=1019)
46. Perspectives of study near-Earth objects by a spacecraft currently operating at a vicinity of a collinear Sun-Earth libration point / M. Pupkov, V. Zubko, K. Fedyayev, N. Eismont //

- COSPAR 2022, 44<sup>th</sup> scientific assembly, B1.1: Small Body Exploration Sciences: From the Solar System to Interstellar Objects. 16 - 24 July, 2022, Athens, Greece. B1.1-0061-22 [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=1007](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=1007)
47. A priori estimation of the accuracy of determining the parameters of Mars rotation based on the results of measurements in the LaRa-ExoMars project / Anakhov, Dmitry; Nazirov, Ravil; Aksenov, Sergei; Fedyayev, Konstantin; Bober, Stanislav // COSPAR 2022, 44th scientific assembly, B4.3: Forward Planning for the Exploration of Mars. 16 - 24 July, 2022, Athens, Greece. TW-067 B4.3-0035-22.
48. Mission opportunities to Sedna and extreme trans-Neptunian objects / V. A. Zubko, A. A. Sukhanov, K. S. Fedyayev, V.V. Koryanov, A.A. Belyayev // 73rd International Astronautical Congress, IAC, C1 IAF Astrodynamics Symposium. 18-22 September, 2022, Paris, France, IAC-22, C1,7,7,x67225. <https://iafastro.directory/iac/browse/IAC-22/C1/7/>
49. Resonant orbit for the expansion of achievable landing areas on the Venus surface in framework of Venera-D project / V. Zubko, N. Eismont, A. Belyayev, K. Fedyayev, L. Zasova, D. Gorinov, R. Nazirov, A. Simonov, D. Zarubin // 73rd International Astronautical Congress, IAC, C1 IAF Astrodynamics Symposium. 18- 22 September, 2022, Paris, France, IAC-22, C1, IPB,33,x67224. <https://iafastro.directory/iac/browse/IAC-22/C1/IPB/>
50. Possibilities of using a spacecraft currently operating at a vicinity of a collinear sun-earth libration point to study near-earth objects / M. Pupkov, N. Eismont, K. Fedyayev, V. Zubko // 73rd International Astronautical Congress, IAC, C1 IAF Astrodynamics Symposium. 18- 22 September, 2022, Paris, France, IAC-22,E10,IP,3,x70097.
51. Gravity Assists as a Tool to Expand the Landing Areas on the Venus Surface / V. Zubko, N. Eismont, A. Belyayev, K. Fedyayev, L. Zasova, D. Gorinov, R. Nazirov // 28<sup>th</sup> international symposium on space flight dynamics (ISSFD-2022), 29 Aug – 2 Sep, 2022, Beijing, China. ISSFD-2022-012. p. 5. <https://issfd-28.casconf.cn/static/1474711509593624577/pages/file/45d817951e694a26ac2bf0e95f6f5475.pdf>
52. Perspectives of Study Near-Earth Objects by a Spacecraft Located in the Vicinity of the Libration Point / Maxim Pupkov, Natan Eismont, Vladislav Zubko and Konstantin Fedyayev// 28<sup>th</sup> international symposium on space flight dynamics (ISSFD-2022), 29 Aug – 2 Sep, 2022, Beijing, China. ISSFD-2022-032. p. 5. <https://issfd-28.casconf.cn/static/1474711509593624577/pages/file/45d817951e694a26ac2bf0e95f6f5475.pdf>
53. Analysis of Space Mission Opportunities to Minor Planet (90377) Sedna/ V. Zubko, A. Sukhanov, K. Fedyayev, V. Koryanov, A. Belyayev // 28<sup>th</sup> international symposium on space

- flight dynamics (ISSFD-2022), 29 Aug – 2 Sep, 2022, Beijing, China. ISSFD-2022-021. p. 11.  
<https://issfd-28.casconf.cn/static/1474711509593624577/pages/file/45d817951e694a26ac2bf0e95f6f5475.pdf>
54. Discussion of Possible Flight Schemes to Neptune's Moons Triton and Nereid / Nikita Simbirev, Natan Eismont, Alexander Sukhanov, Vladislav Zubko and Konstantin Fedyaev // 28<sup>th</sup> international symposium on space flight dynamics (ISSFD-2022), 29 Aug – 2 Sep, 2022, Beijing, China. ISSFD-2022-029. p. 11. <https://issfd-28.casconf.cn/static/1474711509593624577/pages/file/45d817951e694a26ac2bf0e95f6f5475.pdf>
55. Гравитационный маневр в задаче расширения достижимых районов посадки на поверхности Венеры / В. А. Зубко, Н. А. Эйсмонт, А. А. Беляев [и др.] // XIX Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» 13–15 апреля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, Россия <https://kmu.cosmos.ru/docs/2022/Program-KMU-2022-0412.pdf>
56. Перспективы исследования околоземных объектов космическими аппаратами, находящимися в окрестностях точек либрации / Пупков М.В., Эйсмонт Н.А., Федяев К.С., Зубко В.А // Научно-практическая конференция с международным участием "Околоземная астрономия-2022" 18-21 апреля 2022, ИКИ РАН, Москва, Россия <http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/04/Abstract-Book-2022.pdf>
57. О возможности использования МКС как музея на орбите / Петрукович А.А., Эйсмонт Н.А., Зубко В.А., Беляев А.А. // Научно-практическая конференция с международным участием "Околоземная астрономия-2022" 18-21 апреля 2022, ИКИ РАН, Москва, Россия <http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/04/Abstract-Book-2022.pdf>
58. Концепция планетарного щита с использованием астероида на резонансной орбите / Эйсмонт Н.А., Зубко В.А., Беляев А.А., Федяев К.С. // Научно-практическая конференция с международным участием "Околоземная астрономия-2022" 18-21 апреля 2022, ИКИ РАН, Москва, Россия <http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/04/Abstract-Book-2022.pdf>
59. Mission scenario of flight to Venus with landing at any desired location on its surface / V. Zubko, N. Eismont, A. Belyaev, K. Fedyaev, L. Zasova, D. Gorinov, R. Nazirov, A. Simonov // The Thirteen Moscow Solar System Symposium 2022, 13MS3-VN-13. – 2022. – pp. 329. [https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3\\_BOOK\\_18-10-221.pdf](https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3_BOOK_18-10-221.pdf)
60. О возможных схемах перелета к спутникам Нептуна Тритону и Нереиде / Симбирев Н.А. и др. // "Проблемы и перспективы космических миссий с электрореактивными

двигателями" КМЭРД-2022, 9-12 октября 2022, Махачкала, Россия  
<https://www.kmerd2022.com/scientific-program>

61. Баллистический сценарий миссии полета к Седне / Зубко В.А. // "Проблемы и перспективы космических миссий с электрореактивными двигателями" КМЭРД-2022, 9-12 октября 2022, Махачкала, Россия <https://www.kmerd2022.com/scientific-program>
62. Изучение околоземных объектов малым космическим аппаратом, находящимся на орбите вокруг точки либрации / Пупков М.В. и др. // "Проблемы и перспективы космических миссий с электрореактивными двигателями" КМЭРД-2022, 9-12 октября 2022, Махачкала, Россия <https://www.kmerd2022.com/scientific-program>
63. Зубко В. А., Эйсмонт Н. А., Федяев К.С. Расширение областей посадки исследовательского зонда на поверхности Венеры с использованием резонансной орбиты // пятьдесят седьмые научные чтения, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. История и современность. Калуга, Россия – 2022. – С. 306. [https://readings.gmik.ru/abstracts\\_2022\\_part\\_1.pdf#page=306](https://readings.gmik.ru/abstracts_2022_part_1.pdf#page=306)
64. Joint Lunar Data Center (JLDC) Initiative, V. Nazarov, 2022 SpaceOps Workshop (<https://www.nasa.gov/content/2022-spaceops-workshop>), NASA Ames Research Center Silicon Valley, June 1-3, 2022
65. Elena Surovyatkina. Predicting Onset and Withdrawal of Indian Summer Monsoon: Recent Advance and Regional Extension. Seventh World Meteorological Organization (WMO) International Workshop on Monsoons (IWM-7), 22-26 March 2022, New Delhi, India, Invited talk.
66. Surovyatkina, E. Long-Range Forecast for the Navigation Season: linking the Northern Sea Route and Maritime Silk Road, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-6572 <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU22/EGU22-6572.html>
67. Elena Surovyatkina. Challenges and Opportunities forecasting the South American Monsoon. The XX Bolivian School on Complex Systems. The Inaugural Lecture. 19 August 2022, La Paz, Bolivia.
68. Elena Surovyatkina. Prediction of Indian Summer Monsoon Onset and Withdrawal: Central India and Delhi. Women's Day 2022, Indian Institute of Science Education and Research (IISER) Tirupati, India, 8 March, 2022, Invited talk.
69. Elena Surovyatkina. Forecasting rainy season onset & withdrawal 40 days in advance: recent progress and regional extension. International Climate Capacity Building Workshop, Dar es Salaam, Tanzania, 22-23 June 2022, Invited talk.
70. Elena Surovyatkina. New approach pushes limits of numerical weather prediction. International Climate Capacity Building Workshop. Lima, Peru, 16 August 2022.

71. Elena Surovyatkina. Chaos in the Atmosphere: how to deal with the issue? International Climate Capacity Building Workshop. Lima, Peru, 17 August 2022.
72. Elena Surovyatkina. Monsoon Prediction under Climate Change: South American Monsoon Case. International Climate Capacity Building Workshop. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Sala de Reuniões – LIT, São José dos Campos, Brazil 23-24 August 2022, Invited talk.
73. Elena Surovyatkina. Forecast Onset and Withdrawal of Indian Summer Monsoon: Recent Advance and Regional Extension. International Rainfall Onset Workshop. NORCE, Norway, September 19 - 20, 2022, Invited talk.
74. Матвеев А.М. Перспективы мониторинга чрезвычайных ситуаций на нефтегазовых объектах с применением мультиспектрального инфракрасного ДЗЗ // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)», Москва, ИКИ РАН, 14–18 ноября 2022. URL: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=224&thesis=9274>.
75. Матвеев А. М., Жижин М. Н. Доклад «Перспективы мониторинга чрезвычайных ситуаций на нефтегазовых объектах с применением мультиспектрального инфракрасного ДЗЗ». Сентябрь, 2022. ИКИ РАН. URL: <http://www.iki.rssi.ru/seminar/20220909/abstract.php>.
76. Андреев А. В., Уханова Е. В., Жижин М. Н., Пойда А. В. Современные естественнонаучные методы в восстановлении средневековых угасших текстов и изображений // XXI областные Ферапонтовские чтения. Музей фресок Дионисия, Кирилловский район, с. Ферапонтово, Вологодская обл., 20–21 октября 2022. *(Работа выполнена при поддержке грантов: РФФИ 17-29-04476 офи-м и РНФ 17-18-01399.*
77. Полякова Т.В., Гаврюшин С.С., Арутюнов С.Д. Оптимизация расстановки временных имплантатов при концевом дефекте зубного ряда // Тезисы докладов XVI Всероссийской школы «Математическое моделирование и биомеханика в современном университете»– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. 114 с. с. 81.
78. Полякова Т.В., Косов А.С. Конечно-элементное моделирование космического прибора в составе многокомпонентной механической системы. Авиакосмические технологии (АКТ-2022): Тезисы XXIII Международной научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. – Воронеж: ООО Фирма «Элист»; 2022. – 92 с. С.84-85.

79. Полякова Т.В., Косов А.С. Разработка геометрической модели космического прибора в составе многокомпонентной механической системы. // Труды XXIII Всероссийской научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов «Научные исследования и разработки в области авиационных, космических и транспортных систем» (АКТ-2022) - Воронеж, ООО Фирма «Элист», 2022. – 7 с.
80. Полякова Т.В., Гаврюшин С.С. Моделирование установки временных внутрикостных имплантатов при помощи нативной модели нижней челюсти, FARM-2022, 6-9 декабря 2022, 5 с. (планируется).
81. Алтайский М.В., Квантовые системы искусственного интеллекта: модели, методы, элементная база. Доклад на XXIV Международная научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2022», г. Долгопрудный, 17-21 октября 2022 г., <https://neuroinfo.ru/index.php/en/schedule/plenar?year=2022>
82. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П., Рубцов Н.М., Трошин К.Я. Особенности использования оптоэлектронных методов для дистанционного исследования процессов горения и взрыва. Доклад на XXXIV симпозиуме «Современная химическая физика». Туапсе. 16-25 сентября 2022 г. Официальный сайт симпозиума: <http://chemicalphysics/ru>
83. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П., Рубцов Н.М., Трошин К.Я. Особенности использования оптоэлектронных методов для дистанционного исследования процессов горения и взрыва. Сборник тезисов докладов на XXXIV симпозиуме «Современная химическая физика». Туапсе. 16-25 сентября 2022 г. С. 217. Официальный сайт симпозиума: <http://chemicalphysics/ru>
84. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Определение коэффициента экстинкции атмосферы по данным гиперспектрального сенсора УФ-А диапазона. Доклад на XXXIV симпозиуме «Современная химическая физика». Туапсе. 16-25 сентября 2022 г. Официальный сайт симпозиума: <http://chemicalphysics/ru>
85. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Определение коэффициента экстинкции атмосферы по данным гиперспектрального сенсора УФ-А диапазона. Сборник тезисов докладов на XXXIV симпозиуме «Современная химическая физика». Туапсе. 16-25 сентября 2022 г. С. 218. Официальный сайт симпозиума: <http://chemicalphysics/ru>
86. Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Контраст объекта на изображении в УФ-А диапазоне. Доклад. Двадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО

- ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2022 г.  
Официальный сайт конференции: <http://conf.rse.geosmis.ru>
87. Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Контраст объекта на изображении в УФ-А диапазоне. Тезисы доклада на Девятнадцатой международной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», XX.D.74. Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2022 г. Официальный сайт конференции: <http://conf.rse.geosmis.ru>
88. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Метод определения коэффициента экстинкции атмосферы по данным гиперспектрального сенсора УФ-А диапазона. Доклад. Девятнадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2022 г. Официальный сайт конференции: <http://conf.rse.geosmis.ru>
89. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Метод определения коэффициента экстинкции атмосферы по данным гиперспектрального сенсора УФ-А диапазона. Тезисы доклада на Девятнадцатой международной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», XX.D.324. Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2022 г. Официальный сайт конференции: <http://conf.rse.geosmis.ru>
90. Егоров В.В., Балтер Д.Б., Стальная М.В. Отрицательный контраст объекта на изображении в УФ-А диапазоне. Доклад на семинаре отдела 58 по механике, управлению и информатике. Москва, ИКИ РАН, 28 октября 2022 г.

### **Список публикаций по теме УПРАВЛЕНИЕ**

1. Jingfang Fan, Jun Meng, Josef Ludescher, Zhaoyuan Li, Elena Surovyatkina, Xiaosong Chen, Jürgen Kurths, Hans Joachim Schellnhuber. Network-Based Approach and Climate Change Benefits for Forecasting the Amount of Indian Monsoon Rainfall. *Journal of Climate*, Feb 2022, P. 1009–1020 <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/35/3/JCLI-D-21-0063.1.xml> <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0063.1> (IF=5.380, Q1) (РФФИ)
2. N.B. George, M. Raghunathan, V.R. Unni, R.I. Sujith, J. Kurths, E. Surovyatkina. Preventing a global transition to thermoacoustic instability by targeting local dynamics. *Nature Scientific Reports* 12 (1), 9305, 2022, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12951-6> <https://www.nature.com/articles/s41598-022-12951-6> (IF=4,996, Q1)

3. Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Keith, D.; Miller, S.D.; Hsu, F.C.; Ghosh, T.; Anderson, S.J.; Monrad, C.K.; Bazilian, M.; Taneja, J.; et al. The VIIRS Day/Night Band: A Flicker Meter in Space? *Remote Sens.* 2022, 14, 1316. <https://doi.org/10.3390/rs14061316> (IF=4.848, Q1)
4. Ghosh, T.; Baugh, K.E.; Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Poyda, A.; Hsu, F.-C. Extending the DMSP Nighttime Lights Time Series beyond 2013. *Remote Sens.* 2021, 13, 5004. <https://doi.org/10.3390/rs13245004> (IF=4.848, Q1) (не попала в отчет за 2021)
5. Adil M. A., Pulinets S. A., Şentürk E., Abbasi A. R., Budnikov P., GNSS atmosphere seismology for equatorial earthquakes: a case study from Central America, *GPS Solutions*, 26:112, 2022 <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01300-9> (IF=4,397, Q1)
6. A. Kovaleva. The Melnikov criterion of instability for random rocking of a rigid block with a fractional derivative element. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 436, 133326 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.physd.2022.133326> (IF=3,751, Q1)
7. Suchithra K. S., Gopalakrishnan E. A., Jürgen Kurths, and E. Surovyatkina. Emergency rate-driven control for rotor angle instability in power systems. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 32 (6), 061102, <https://doi.org/10.1063/5.0093450>, <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0093450> (IF=3.741, Q1) ( $P\Phi\Phi II$ )
8. M. Raghunathan, N.B. George, V.R. Unni, R.I. Sujith, J. Kurths, E. Surovyatkina. Seeds of phase transition to thermoacoustic instability, *New Journal of Physics*, Volume 24, 063008, June 2022, <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac71bb> <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/ac71bb/meta> (IF=3.716, Q1) ( $P\Phi\Phi II$ )
9. Elvidge C.D.; Baugh K.; Ghosh T.; Zhizhin M.; Hsu F.C.; Sparks T.; Bazilian M.; Sutton P.C.; Hounbedji K.; Goldblatt R. Fifty years of nightly global low-light imaging satellite observations. *Front. Remote Sens.*, 2022. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.919937> (IF=3,661, Q1)
10. A. Kovaleva. The Melnikov criterion of instability for a fractionally damped rigid block with noise-induced response enhancement. *Probabilistic Engineering Mechanics*, vol. 68, 103216 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.probengmech.2022.103216> (IF=2,954, Q1)
11. Zubko V. (2022). The fastest routes of approach to dwarf planet Sedna for study its surface and composition at the close range. *Acta Astronautica*, 192, 47-67. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.12.011> (IF = 2.954, Q1, SJR=1)
12. Eismont N., Zubko V., Belyaev A., Fedyayev K., Zasova L., Gorinov D., Simonov A. & Nazirov, R. (2022). Expansion of landing areas on the Venus surface by using resonant orbits in the Venera-D project. *Acta Astronautica*, 197, 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.03.014> (IF = 2.954, Q1, SJR=1)

13. Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Hsu, F.C.; Sparks, T.; Ghosh, T. Subpixel Analysis of Primary and Secondary Infrared Emitters with Nighttime VIIRS Data. *Fire* 2021, 4, 83.  
<https://doi.org/10.3390/fire4040083> (IF=2,726, Q1) (не попала в отчет за 2021)
14. Pulinets S.; Budnikov P. Atmosphere Critical Processes Sensing with ACP. *Atmosphere* 2022, Volume 13, Issue 11, <https://doi.org/10.3390/atmos13111920> (IF=3,110, Q2)
15. Nina A., Biagi P. F., Pulinets S., Nico G., Mitrović S.T., Čadež V.M., Radovanović M., Urošev M., Popović L.Č., Variation of the VLF signal noise amplitude during the period of intense seismic activity in Central Italy from 25 October to 3 November 2016, *Frontier in Environmental Studies*, 2022, DOI 10.3389/fenvs.2022.1005575 (IF=3,498, Q2, SJR)
16. Pulinets S.A., Khagai V.V., Legen'ka A.D., and Korsunova L.P., New Parameter for Analysis of Ionospheric Disturbances and the Search for Ionospheric Precursors of Earthquakes Based on Barbier's Formula, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2022, Vol. 62, No. 3, pp. 255–262, DOI: 10.1134/S001679322203015X (IF=0,844, Q3)
17. M.V.Altaisky, N.E.Kaputkina, R.Raj, Multiresolution quantum field theory in light-front coordinates, *International Journal of Theoretical Physics*, 61, 46 (2022) DOI: 10.1007/s10773-022-05029-6 (IF=1,308, Q3)
18. M.V.Altaisky and R.Raj, Can our spacetime emerge from anti-de Sitter space? *Physics of Particles and Nuclei Letters*, **19** (2022), 313-316 <https://doi.org/10.1134/S1547477122040033> (SJR=0,24, Q3)
19. Pulinets, S. (2022). Thermodynamic Instability of the Atmospheric Boundary Layer as a Precursor of an Earthquake. In: Brenig, L., Brilliantov, N., Tlidi, M. (eds) *Nonequilibrium Thermodynamics and Fluctuation Kinetics. Fundamental Theories of Physics*, vol 208. Springer, Cham. pp. 313-323 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8_16)