

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 531.01 004.09 004.04

Номер государственной регистрации 01.20.03 03442

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института космических исследований
Российской академии наук
академик РАН



Л.М. Зелёный

2017 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

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

Тема УПРАВЛЕНИЕ

0028-2014-0006

Научный руководитель

д.т.н. Р.Р. Назиров

« » 2017 г.

Москва

2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы
зам. директора, д.т.н.



Назиров Р.Р.

Ответственные
исполнители разделов
темы:

в.н.с., д.ф.-м.н.



Ковалёва А.С.

глав. спец.



Боярский М.Н.

глав. спец., к.т.н.



Коноплёв В.

РЕФЕРАТ

Отчет 39с., 7 рисунков, 57 источников.

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	6
1 Раздел 1. Математические модели планирования космических экспериментов	8
1.1 Разработка методов анализа и управления сложными механическими системами. Исследование возможностей гашения нежелательных колебаний в системах переменной структуры.	8
1.2 Работы по навигационному обеспечению проектов Спектр-Рентген-Гамма, Венера-Д, Трабант, Бумеранг, Радиоастрон.....	8
1.3 Разработка методов автономной навигации космических аппаратов.....	9
1.4 Анализ и обобщение накопленных знаний и опыта в области выбора орбит ИСЗ, исходя из задач космических экспериментов и с учетом особенностей эволюции орбит и времени их баллистического существования, а также технических ограничений.	10
1.5 Баллистическое обеспечение эксперимента “Плазма–Ф” на борту КА СПЕКТР-Р.....	12
1.5.1 Определение ориентации научного прибора эксперимента «Плазма-Ф» в солнечно-эклиптической системе и расчет направления солнечного ветра... ..	12
1.6 Оценивание точности определения параметров движения естественных и искусственных небесных тел (астероидов, космических аппаратов). Результат: программное обеспечение для расчета изохронных производных в различных моделях движения, численные результаты расчетов точностных характеристик по заданным начальным условиям для реальных объектов. ...	12
1.7 Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов.	13
1.8 Исследования нелинейной динамики систем испытывающих бифуркации и разработка методов управления такими системами.....	14
1.8.1 Исследования условий возникновения и завершения летнего Индийского муссона в 2017 г.	14
1.8.2 Экспериментальное исследование управляемого срыва к термоакустической неустойчивости.....	15
2 Раздел 2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии	16
2.1 Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ в сети Интернет.....	16
2.2 Поддержание и развитие архива научных космических данных на базе распределено-реплицируемой сетевой файловой системы GlusterFS.....	17
2.3 Экспериментальный консолидированный высокопроизводительный вычислительный сегмент в центре обработки данных ИКИ РАН.....	17
2.4 Наземные научные комплексы (ННК). Разработка концептуальных, технологических и методологических подходов повышения научной отдачи научных космических экспериментов за счет организации эффективной наземной информационной поддержки, а также их экспериментальная отработка.....	18
2.5 Наземные измерения альбедо Марса для калибровки прибора ТИРВИМ космической миссии ЭкзоМарс-2016.....	20
2.6 Массивы взаимодействующих квантовых точек в качестве элементной базы квантовых нейронных сетей для квантовых систем искусственного интеллекта.....	21
2.7 Исследование возможностей применения космических данных для улучшения оценок риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы. Разработка методики использования космических данных при оценке и	

	управлении риском. Продолжение практических работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы от действующих и строящихся предприятий, а также от транспортных потоков в городах.....	21
2.8	Продолжение разработки теоретических и алгоритмических основ применения теории оптимального управления к информационному циклу управления состоянием экологических объектов с использованием аэрокосмических данных, включая оптимизацию средств наблюдений. Тестирование такого цикла на компьютерных имитационных моделях с использованием реальных данных.	22
2.9	Развитие математического обеспечения для первичной и вторичной обработки прибора BMSW, входящего в состав эксперимента «Плазма-Ф». Проведение систематической обработки и архивации данных.....	23
2.10	Разработка метода компрессии изображений с фиксированным коэффициентом сжатия для использования на борту КА.	23
2.11	Обработка изображений линии горизонта в интересах решения навигационных задач.....	24
2.12	Разработка интерактивной системы визуализации положения марсохода на Web-ресурсах.....	27
3	Раздел 3. Космос.....	29
3.1	Модернизация и развитие научной космической сети «КОСМОС»	29
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	30
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	32
	Публикации по теме УПРАВЛЕНИЕ.....	

ВВЕДЕНИЕ

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с государственным заданием ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ по следующим научным направлениям.

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно-земных связей (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 16, 129)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 137, 138)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 21)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 16)

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03 декабря 2012 г., № 2237-р

п/п	Направление фундаментальных исследований	Номер направления в «Программе»
1	Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач	16
2	Современные проблемы физики плазмы, включая физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы её применения в технологических процессах	14
3	Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.	129
4	Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии.	138

5	Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества	137
6	Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.	21

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики проводятся по теме 0028-2014-0006 УПРАВЛЕНИЕ.

Тема 0028-2014-0006 УПРАВЛЕНИЕ является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2017г. 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. № 01.20.03 03442

Раздел 1 Математические модели планирования космических экспериментов

1.1 Разработка методов анализа и управления сложными механическими системами. Исследование возможностей гашения нежелательных колебаний в системах переменной структуры.

Исследованы возможности активного управления резонансными режимами при помощи медленного изменения частот возбуждения и/или собственных частот системы. Обнаружены и изучены два типа процессов: (1) захват в резонанс, сопровождающееся медленным возрастанием амплитуды колебаний в цепи слабо связанных нелинейных осцилляторов, к одному из которых приложено периодическое возбуждение с медленно возрастающей частотой; (2) уменьшение амплитуды резонансных колебаний нелинейного осциллятора, слабо связанного с линейным осциллятором с медленно меняющейся собственной частотой. Полученные теоретические и численные результаты открывают возможности управления резонансными режимами в многомерных системах.

1.2 Работы по навигационному обеспечению проектов Спектр-Рентген-Гамма, Венера-Д, Трабант, Бумеранг, Радиоастрон.

Спектр-Рентген-Гамма: проведены исследования по выбору оптимального сценария выведения космического аппарата на орбиту в окрестность солнечно-земной точки либрации L2. При этом в качестве критерия оптимизации принималась амплитуда орбиты в солнечно-эклиптической системе координат. Совместно с РКК Энергия и НПО им. Лавочкина были разработаны соответствующие рабочие схемы выведения и орбиты. Были разработаны (совместно с Коваленко И.Д.) варианты выведения аппарата к точке либрации L2 с использованием гравитационного маневра у Луны, позволяющие существенно уменьшить амплитуду траектории полета около точки либрации за счет выбора высоты пролета Луны и окна возможных дат старта в течение ожидаемых календарных сроков реализации проекта. Проанализированы методы управления аппаратом при его полете на рабочей орбите и разработан метод снижения возмущений орбитального движения при разгрузках маховиков аппарата, что дает снижение затрат рабочего тела для удержания его около точки либрации. Подготовлено официальные документы по предложенной методике.

Венера-Д: была разработана архитектура и сценарии реализации миссии, позволяющие достигать необходимой гибкости при выборе точки посадки на поверхность Венеры при обеспечении работы радиолинии между орбитальным аппаратом и посадочным, а также долгоживущими малыми аппаратами на поверхности и в атмосфере Венеры.

Трабант: была разработана концепция управления двух малых аппаратов, запускаемых с транспортного корабля «Прогресс» в качестве попутной нагрузки, а также определены состав и ключевые характеристики системы управления ориентацией и орбитальным движением аппаратов.

Бумеранг (предлагаемая новая версия проекта по возврату грунта с Фобоса и Деймоса): исследованы возможности радиопросвечивания спутников Марса в рамках дополнительной задачи проекта за счет использования возвращаемых аппаратов для этой цели.

Радиоастрон: Разработаны методы перевода на гало-орбиту в окрестности L2 космического аппарата Радиоастрон, как способ завершения его миссии в режиме использования облета Луны как маневра изменения его изначальной высокоэллиптической траектории. Получены результаты, подтверждающие возможность реализации такого маневра в рамках ограничений по имеющегося запаса рабочего тела на борту аппарата. Исследованы возможности запуска космического аппарата на гало-орбиту в окрестности коллинеарной точки либрации L2 системы Земля-Луна. Подтверждена реализуемость такой орбиты в рамках задачи по проведению экспериментов с использованием обратной стороны Луны для размещения прибора по исследованию коротковолновых излучений в районе орбиты Земли. Подготовлен соответствующий раздел доклада на Всероссийской конференции «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра НЕА-2017». Москва, 2017, 18-21 декабря.

1.3 Разработка методов автономной навигации космических аппаратов.

В рамках решения задачи оценивания точности определения положения небесных тел по измерениям проведена работа по созданию программного комплекса численного интегрирования уравнений движения небесных тел в реальной модели сил на основе высокоточных эфемерид. Разрабатываемое программное обеспечение позволяет численно рассчитывать траектории движения космических аппаратов с учетом возмущающих воздействий различной природы и проводить априорное оценивание точности полученного решения. В данном программном обеспечении предусматривается возможность использования ресурсов информационной системы SPICE, что позволяет

применять указанное программное обеспечение для получения априорных оценок точности оценивания различных параметров широкого круга задач космической навигации и управления.

1.4 Анализ и обобщение накопленных знаний и опыта в области выбора орбит ИСЗ, исходя из задач космических экспериментов и с учетом особенностей эволюции орбит и времени их баллистического существования, а также технических ограничений.

Запланированные на 2017 год публикации, основанные на использовании теории Лидова-Козаи, в задачах, связанных с околоземным космическим пространством и пространством внутри Солнечной системы, получили новый поворот. Стало известно, что теория Лидова-Козаи является востребованной в качестве инструмента для исследований в более широких областях науки: в экзопланетных системах в межзвездном пространстве внутри галактики Млечный путь, а также в области физики высоких энергий в межгалактическом пространстве. Для того чтобы осмыслить переход к новым задачам, автору потребовалось переосмыслить «механизм действия» качественных методов теории возмущений. Для этого пришлось посещать конференции по разным разделам физики, а также задуматься о динамике ограниченной задачи трёх тел, основанной на законах Кеплера и Ньютона. В результате была подготовлена статья, принятая к изданию в журнале ПАЖ 2018, том 44, №1. В этой статье речь идёт о динамике теории Лидова-Козаи и о применении этой теории в области планет Солнечной системы. В процессе подготовки статьи промежуточные результаты обсуждались в докладах на заседании координационного совета ГАИШ МГУ им. Ломоносова, а также на Международной конференции по математической теории управления и механике в Звенигороде.

Остановимся на особенностях качественных методов теории Лидова-Козаи и на опыте её практического применения в Солнечной планетной системе. При разработке этих методов в работах Лидова и Козаи было использовано осреднение возмущающей функции ограниченной задачи трёх тел (задачи Хилла). Осреднение этой функции осуществляется по двум периодам (периоду движения малого тела m_2 относительно центрального тела m_1 и периоду относительного движения двух тел: m_3 и m_1). Далее выполнено разложение двукратно осредненной возмущающей функции задачи Хилла в ряд по полиномам Лежандра. В работе М.Л. Лидова, исходя из первых трёх членов разложения вышеупомянутой возмущающей функции, получена вполне интегрируемая система уравнений Лагранжа, в предположении об отсутствии соизмеримости периода движения малого тела вокруг центрального тела и периода движения возмущающего тела

относительно центрального тела. Эта система уравнений описывает вековую составляющую эволюции орбиты малого тела под влиянием внешних гравитационных возмущений. Отметим, что для понимания сути качественных методов теории Лидова-Козаи, следует учитывать существенное различие между ролью начальных значений орбитальных элементов тела m_2 и ролью динамических параметров системы двух тел: центрального (m_1) и возмущающего (m_3). Начальные значения орбитальных элементов тела m_2 определяют характер и безразмерный период вековой эволюции орбиты, а также позволяют классифицировать «многообразия» начальных условий, приводящих (или не приводящих) к пересечению орбиты тела m_2 с центральным телом конечного радиуса. В то время как динамические параметры центрального и возмущающего тела определяют численное значение измеряемого в физическом времени периода вековой составляющей эволюции орбиты малого тела. Для исследования вековой эволюции орбит спутников в работе предложены способы геометрического представления интегральных кривых в фазовом пространстве, а также введена классификация многообразий I, II, III начальных условий, приводящих (или не приводящих) к пересечению орбит спутников с поверхностью центрального тела конечного радиуса. В работе Прохоренко (2007) получено описание многообразий I, II, III в виде трёх теорем, а в работе Прохоренко (2015), в качестве следствий из этих теорем, получена классификация многообразий I, II, III в области возможных начальных значений наклона орбиты тела m_2 к плоскости орбиты относительного движения центрального и возмущающего тела. Для обоснования практического применения теории Лидова-Козаи потребовалось уделить внимание области действия этой теории (на шкале возможных значений большой полуоси орбиты спутника) с учётом гравитационных возмущений, обусловленных сжатием планеты. Для этого в работе Прохоренко (2006) было введено понятие планетоцентрической d -сферы, выделяющей область преимущественного влияния сжатия планеты. В работе Прохоренко (2011) предложена методика определения границ влияния каждого из двух возмущающих факторов смешанной задачи (на шкале возможных значений большой полуоси орбиты спутника): внешняя граница для области преимущественного влияния возмущений от сжатия планеты и внутренняя граница для области преимущественного влияния внешних гравитационных возмущений. Положение упомянутых границ зависит от динамических параметров системы двух тел: планета, возмущающее тело. Установлено, что чем дальше планета от Солнца, тем дальше отодвигается внутренняя граница области влияния внешних гравитационных возмущений. В области, лежащей между упомянутыми границами, влияние двух возмущающих факторов происходит на «паритетных» началах.

Применение теории Лидова-Козаи в широких областях науки: от экзопланетных систем до межгалактического пространства, пока ещё впереди. Портреты разнообразных спиральных и эллиптических галактик, полученные за последние годы, в результате наблюдений с помощью телескопов, работающих за пределами атмосферы Земли, будоражат мысль и вселяют надежду, что применение теории Лидова-Козаи поможет внести вклад в понимание строения и эволюции Галактик, состоящих из звезд, которые видны издали. А затем подобные исследования помогут внести свой вклад в понимание роли теории Лидова-Козаи в строении и вековой эволюции экзопланетных систем.

1.5 Баллистическое обеспечение эксперимента “Плазма–Ф” на борту КА СПЕКТР-Р.

Продолжается работа по баллистическому обеспечению эксперимента Плазма–Ф на борту КА СПЕКТР-Р и ежемесячному обновлению прогнозируемой баллистической информации в открытом доступе на сайте ИКИ РАН

http://ftp2.plasma-f.cosmos.ru/orbit/campaign/p_pf_flg/camp1.htm

1.5.1 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 систематическая 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, регулярно размещаются на сервере plasma-f.cosmos.ru.

Проводились работы по подготовке итогового WEB представления результатов эксперимента «Плазма-Ф» (совместно с лаб. 821).

1.6 Оценивание точности определения параметров движения естественных и искусственных небесных тел (астероидов, космических аппаратов). Результат: программное обеспечение для расчета изохронных производных в различных моделях движения, численные результаты расчетов точностных характеристик по заданным начальным условиям для реальных объектов.

Проведено исследование долгопериодических орбит в окрестности точки L_2 систем Солнце-Земля и Земля-Луна с точки зрения затененности малым телом. Обнаружены долгопериодические резонансные орбиты, на которых КА не попадает в тень (Солнце-

Земля), либо время попадания в тень малого тела не более 1% периода орбиты. Такие орбиты допускают применение в миссиях наряду с гало и квазигало-орбитами.

Разработан ряд компьютерных инструментов, позволяющих осуществлять моделирование движения КА в окрестности коллинеарных точек либрации. Реализованы алгоритмы коррекции движения КА, позволяющие удерживать его на ограниченной орбите вокруг точки либрации, проведена оценка требуемых затрат характеристической скорости. Исследована возможность удержания КА на ограниченной орбите при наличии ограничений на направления импульсов коррекции.

Разработан программный код для исследования орбит на языке Python. Поскольку в нём отсутствуют средства для точного определения событий (event location, root finding), существующие в Matlab и необходимые для построения и анализа орбит, то были разработаны аналогичные инструменты. Код доступен по ссылке: <https://github.com/BoberSA/crtbp>.

1.7 Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов.

С использованием аддитивных технологий были разработаны модели протезов с фиксацией на имплантатах и мостовидные протезы с опорой на коренные зубы с различными типами фиксации, а также модель позвоночника в условиях гиподинамии при невесомости. Консультирование при разработке методики процесса функционального нагружения коленного сустава в условиях гиперпрессии и планировании операции по устранению последствий плосковальгусной деформации стопы.

Результаты расчетов максимальных допустимых нагрузок для мостовидных протезов сравнивались с результатами ранее проведенных расчетов для протезирования с использованием имплантатов. Разработана методика создания биомеханической модели протеза с горизонтальным способом ведения. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния структурной составляющей фрагмента челюсти на примере дефекта зубного ряда с искусственными включениями на основе метода конечных элементов. Проведено сравнение разработанной модели протеза с аналогичным типом при вертикальной фиксации. Полученные модели могут в дальнейшем быть применены для оптимизации конструкции протезов в операциях протезирования и имплантации.

Были проведены расчеты прочности позвоночника в условиях гиподинамии при невесомости. Разработана программа для оптимизации формы протезов при фиксации на

имплантатах и для схематичной модели космического аппарата при расчетах его тепловых режимов.

1.8 Исследования нелинейной динамики систем испытывающих бифуркации и разработка методов управления такими системами.

1.8.1. Исследования условий возникновения и завершения летнего Индийского муссона в 2017 г.

Получены самые ранние прогнозы начала и завершения муссона в Центральной Индии. Оба прогноза оказались успешными.

В то время как метеорологическая служба Индии прогнозирует только дату начала муссона за две недели вперед и только для одного (из 29 штатов) - штата Керала расположенного на южной оконечности Индостана, дата завершения муссона не прогнозируется вообще в силу отсутствия методов прогнозирования.

Долгосрочный прогноз, основанный на предложенной методологии, позволяет предсказать как дату начала муссона за 40 дней вперед, так и дату завершения за 70 дней вперед для Центральной части Индии, где такие прогнозы никогда раньше не производились.

Метод прогнозирования основан на свойствах критических переходов. Рассматривая начало и завершение муссона, как время наступления срыва или внезапного перехода системы от одного состояния к другому, прогнозируется время, когда критические условия для перехода к муссону (и обратно) возникнут в Центральной Индии. Именно этот регион определен в новом подходе как критический элемент пространственной организации Индийского муссона. Для прогноза также используются данные Северного Пакистана – второго критического элемента, задающего направление распространения муссона. Оба критических элемента обнаружены по росту флуктуаций температуры накануне критических переходов.

Исследования муссона проводились на основе данных ре-анализа NCEP/NCAR и ERA-40 о среднесуточной приповерхностной температуре, давлении и относительной влажности с пространственным разрешением 2.5° за период 2000–2017 гг.

Дата начала муссона была определена за 40 дней, а дата окончания сезона дождей - за 70 дней. Прогнозы были опубликованы на сайте, Twitter, Facebook и в Индийских средствах массовой информации. Фактические даты начала завершения муссона в Центральной Индии, объявленные Индийским метеорологическим департаментом (IMD) оказались в предсказанном диапазоне (Рисунок 1.8.1).

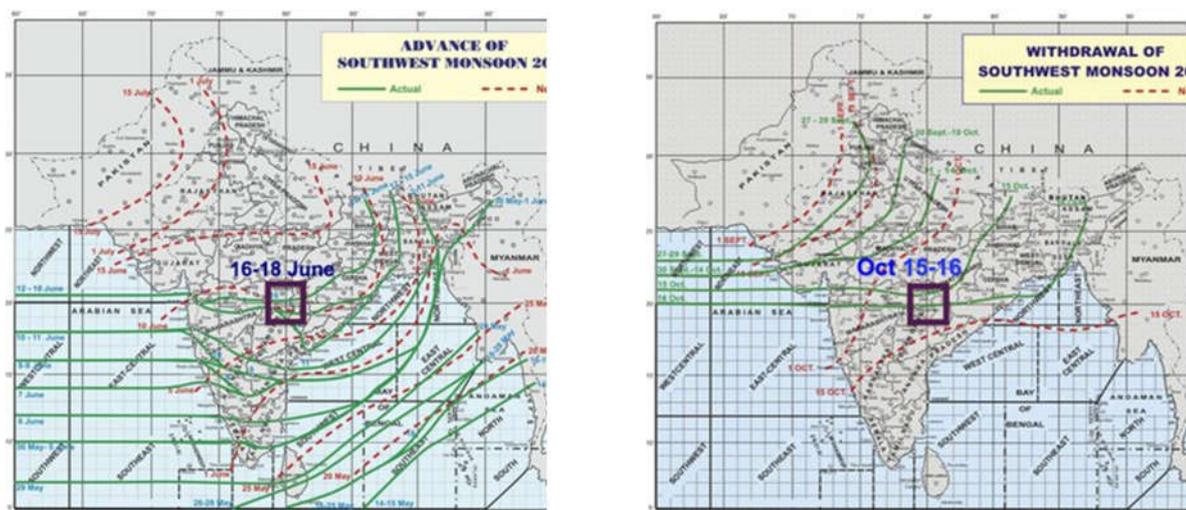


Рисунок 1.8.1 - Карты продвижения (слева) и выхода (справа) летнего Индийского муссона 2017 опубликованные Индийским метеорологическим департаментом (IMD) (http://www.imd.gov.in/pages/monsoon_main.php) на момент начала и выхода муссона из Центральной Индии (отмечено квадратом). Изохроны красного цвета показывают средние за последние 50 лет значения, рассматриваемые IMD, как норма. Изохроны зеленого цвета указывают фактические даты начала и завершения муссона в 2017 году. Даты прогнозов начала муссона, 16-18 июня, (представленные за 40 дней до начала муссона в этом регионе) и даты завершения муссона, 15-16 октября, (представленные за 70 дней до выхода) совпали с фактическими значения зафиксированными IMD в Центральной Индии.

Таким образом, самый ранний прогноз начала и завершения Индийского муссона в 2017 оказался успешным. Принимая также во внимание успешные прогнозы предыдущего 2016 года и ретроспективные тесты за период 1951-2015 гг. Можно заключить, что переход к муссону (и обратно) является критическим переходом, и это новое фундаментальное свойство может быть использовано для раннего прогноза Индийского муссона.

Stolbova, V., E. Surovyatkina, B. Bookhagen, and J. Kurths. Tipping elements of the Indian monsoon: Prediction of onset and withdrawal. Geophys. Res. Lett., 43, 1–9, 2016, doi:10.1002/2016GL068392

<https://www.pik-potsdam.de/services/infodesk/forecasting-indian-monsoon/>

1.8.2. Экспериментальное исследование управляемого срыва к термоакустической неустойчивости

Проведено экспериментальное исследование управляемого срыва к термоакустической неустойчивости. Экспериментальная установка - Труба Рийке (Rijke's

tube) превращает тепло в звук, создавая самонастраивающуюся стоячую волну. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование управляемого срыва к термоакустической неустойчивости.

Эксперимент проводился в Трубе Рийке (Rijke's tube), которая превращает тепло в звук, создавая самонастраивающуюся стоячую волну, что позволяет использовать Трубу Рийке в качестве модели для исследования термоакустических явлений в таких важных технических приложениях, как двигатели самолетов и неустойчивость горения в ракетных двигателях. Термоакустические явления могут быть чрезвычайно опасными и приводить к разрушению двигателя.

В работе проведена серия экспериментов для определения факторов, приводящих к режиму потери устойчивости и выхода на режим установившихся акустических колебаний. В качестве управляющего параметра выбрана мощность нагревателя. Управление срывом сводится к определению начальных условий и выбору скорости изменения управляющего параметра. Для того чтобы наблюдать срыв необходимо, чтобы скорость изменения управляющего параметра была выше критической. Обнаружено, что критическая скорость существенно зависит от начальных условий. Результаты эксперимента хорошо согласуются с теоретическими оценками.

На основании полученных результатов можно сделать два важных вывода. Во-первых, поведение системы существенно меняется при изменении параметров во времени. Во-вторых, параметры, которые определяют асимптотическое поведение многих физических систем, на самом деле являются динамическими переменными.

J. Tony, S Subarna, K. S. Syamkumar, G. Sudha, S. Akshay, E. A. Gopalakrishnan, E. Surovyatkina & R. I. Sujith. Experimental investigation on preconditioned rate induced tipping in a thermoacoustic system . Scientific Reports-Nature, 2017 Jul 14; 7(1):5414. doi: 10.1038/s41598-017-05814-y.

Раздел 2 Интеллект. Телекоммуникационные технологии

2.1 Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ 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. Проводилась разработка и оперативное обновление информации на веб-сайте института, включая подготовку и эксплуатацию следующих новых сайтов:

1. Международный форум "Спутник: 60 лет по дороге открытий"
2. Восьмой московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (8MS3).
3. Тринадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе".
4. Шестая международная конференция "High-Energy Phenomena in Relativistic Outflows VI. "
5. XIV Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования".

Разработан и введен в эксплуатацию новый вебсайт системы учета трудозатрат сотрудников по проектам, выполняемым ИКИ, позволяющий руководителям проектов и тем распределять трудозатраты по сотрудникам, работникам планово-экономического отдела контролировать распределение трудозатрат по проектам, а руководителям подразделений оценивать загруженность своих сотрудников.

Продолжалось развитие сервера коллективной работы (Groupware) на базе программного обеспечения Kolab. Сервер обеспечивает возможность доступа к корпоративной электронной почте, включая веб-интерфейс и доступ с мобильных устройств, а также персональный и совместный доступ к файлам, заметкам, календарям и заданиям.

2.2 Поддержание и развитие архива научных космических данных на базе распределено-реплицируемой сетевой файловой системы GlusterFS.

Произвоилась эксплуатация и обновление программно-аппаратного узла файлового архива с общим объемом резервированного хранения 12 Терабайт. Выполнялось регулярное пополнение архива новыми данными проекта «Плазма-Ф».

2.3 Экспериментальный консолидированный высокопроизводительный вычислительный сегмент в центре обработки данных ИКИ РАН.

В течение 2017 года производились штатная эксплуатация и дальнейшее развитие мульти-проектного программно-аппаратного комплекса (ПАК) SCARP для хранения и обработки научных данных. Была выполнена реорганизация окончного хранилища с увеличением числа дисковых групп, что существенно повысило общую производительность системы. К режиму работы Lustre/RDMA был также добавлен режим NFS/RDMA, что существенно повысило стабильность работы системы. Была доработана подсистема отказоустойчивой кластеризации, что существенно повысило скорость автоматического ввода резерва. Были доработаны модули подсистемы мониторинга

состояния дисковых пулов ПАК SCARP, а также произведена интеграция с системой мониторинга сети «КОСМОС» на базе ПО Zabbix. Подготовлен к вводу в эксплуатацию дополнительный модуль хранения объемом до 140ТБ.

В течение 2017 года ресурсы ПАК SCAP были подключены к новым проектам:

1. Геоинформационная система SPIDER.
2. ННК ЭкзоМарс – вспомогательный виртуальный сервер для научных расчетов.
3. База ночных огней по спутниковым данным сенсоров VIIRS проекта Suomi NPP.

2.4 Наземные научные комплексы (ННК). Разработка концептуальных, технологических и методологических подходов повышения научной отдачи научных космических экспериментов за счет организации эффективной наземной информационной поддержки, а также их экспериментальная отработка.

Опираясь на опыт реализации ранее созданных наземных научных комплексов (ННК) и учитывая опыт аналогичных зарубежных систем в течение отчетного периода проводились работы по разработке новых технических и технологических методов организации наземных научных сегментов перспективных космических проектов. Фактически это выразилось в развертывании российского комплекса для обеспечения приёма научной информации (РКПНИ) миссии «ЭкзоМарс—2016». Данный комплекс представляет собой распределенную наземную информационную систему (см. рисунок ниже).

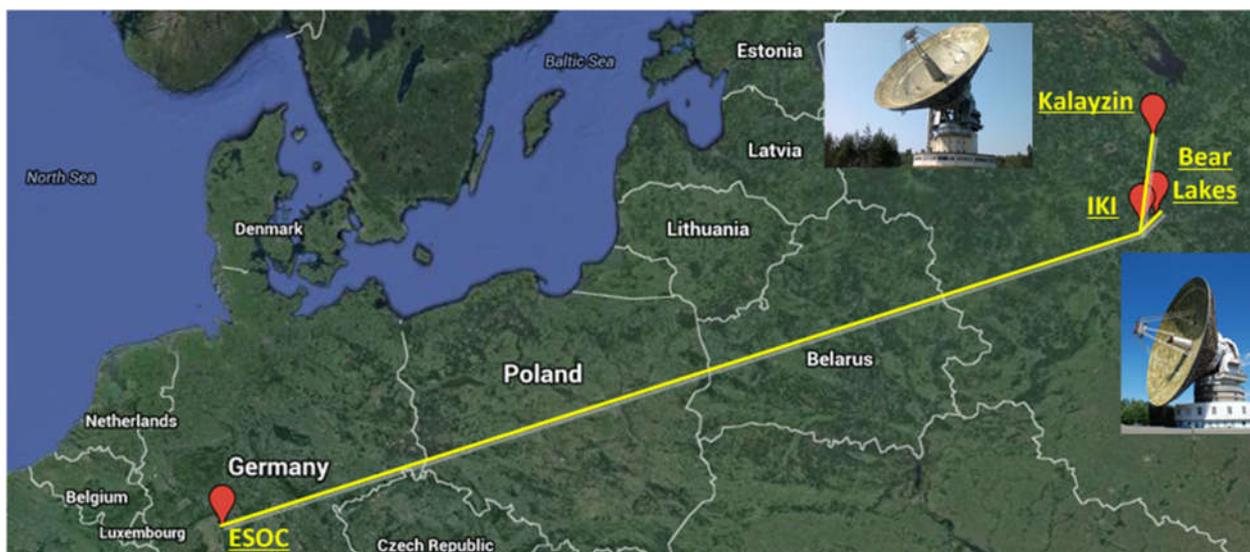
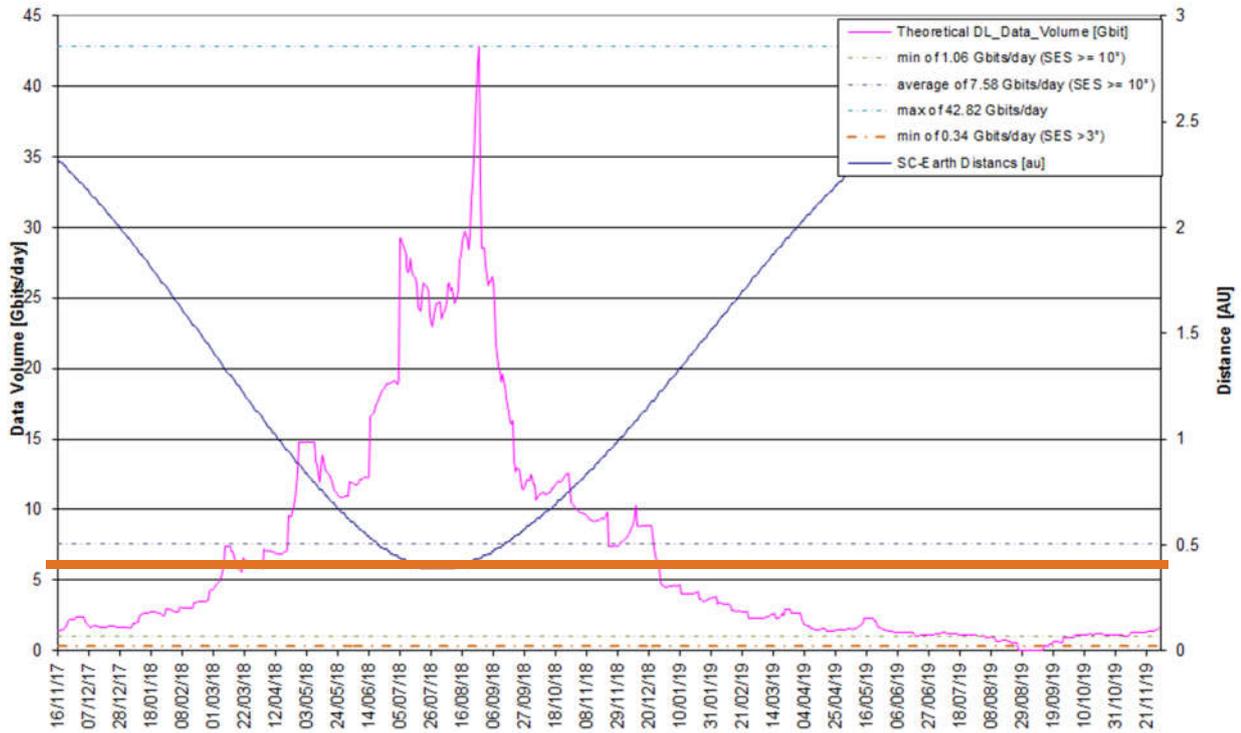


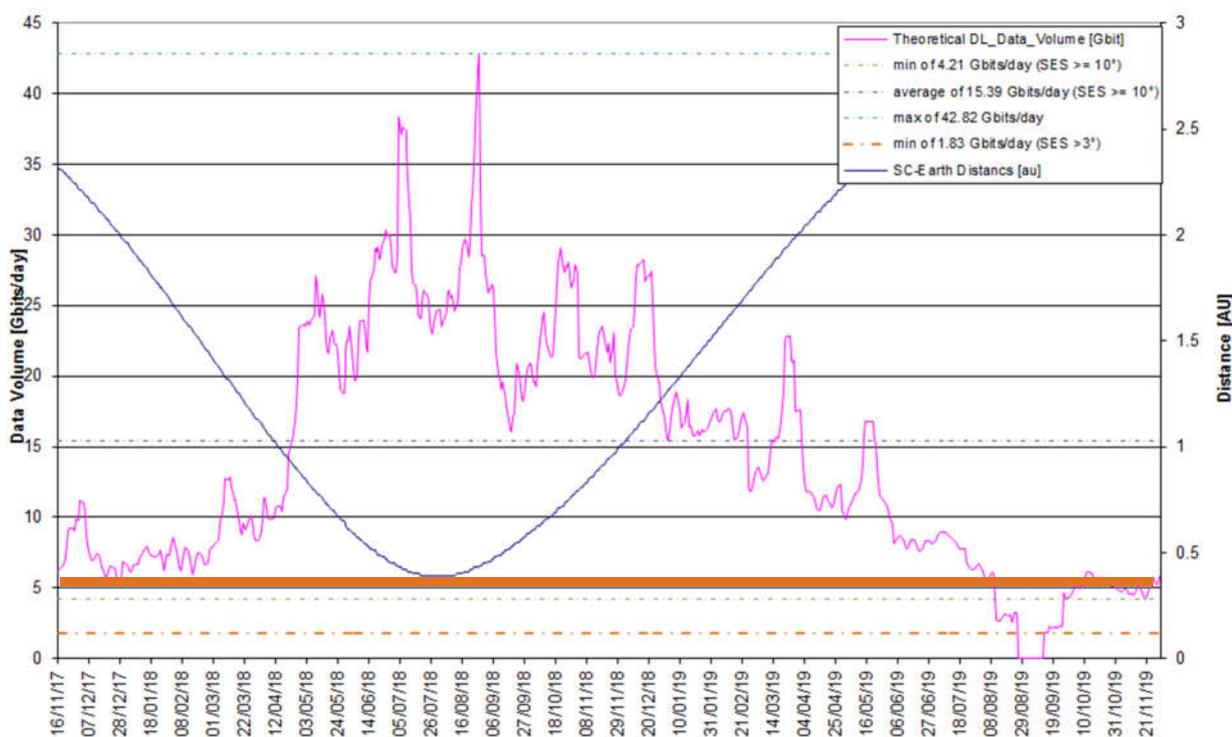
Рисунок 2.4.1 - Распределенная архитектура РКПНИ.

Использование подходов, указанных выше, позволило осуществить интеграцию отечественных средств в объединенный международный сегмент проекта ЭкзоМарс. И повысить научную отдачу проекта более чем в два раза (см. рисунок ниже).

Другим направлением использования современных технологических подходов является развитие ННК-ЭМ, в основном работы фокусировались на создании уникальных по своим характеристикам систем работы с данными.



A)



Б)

Рисунок 2.4.2 - Научная отдача миссии без РКПНИ (А) и при задействовании РКПНИ (Б).

2.5 Наземные измерения альbedo Марса для калибровки прибора ТИРВИМ космической миссии ЭкзоМарс-2016.

Проведены наземные измерения альbedo Марса в спектральной области от 1 до 5 мкм. Измерения проводились в дни, близкие к сеансу аналогичных измерений с орбиты Марса российского прибора ТИРВИМ. Полученные данные могут использоваться для уточнения калибровки прибора.

Миссия ЭкзоМарс-2016 стартовала 14 марта 2016 г. запуском европейского космического аппарата (КА) российской ракетой Протон. На КА функционирует российский спектрометрический комплекс АЦС, в состав которого входит фурье-спектрометр ТИРВИМ, работающий в спектральном диапазоне от 1.8 до 16 мкм. В диапазоне от 5 до 16 мкм прибор хорошо калибруется с помощью входящего в его состав имитатора абсолютно черного тела. В диапазоне от 1.8 до 5 мкм прибор предназначен в основном для наблюдений Солнца, заходящего за атмосферу Марса, и работает с автокалибровкой по Солнцу, ещё не зашедшему за атмосферу. Абсолютная калибровка в этом диапазоне изначально не предусматривалась, однако ее величина, которую можно получить синхронными наблюдениями с Земли и с орбиты Марса, может быть использована при интерпретации получаемых данных.

Наземные наблюдения Марса проводились в Крымской лаборатории ГАИШ на 1.25-м телескопе при помощи модуляционного фотометра с охлаждаемым жидким азотом одноэлементным InSb-фотодиодом. Фотометр имеет сменные светофильтры на стандартные инфракрасные астрономические полосы JHKLM. Результаты измерений альbedo представлены в таблице 2.5.1:

Полоса	J	H	K	L	M
Длина волны, мкм	1.25	1.62	2.2	3.5	4.8
Частота, см ⁻¹	8000	6173	4545	2857	2083
BS7264, зв.вел.	2.14	1.95	1.88	1.74	1.72
Марс, зв.вел.	-1.35	-1.52	-1.69	-1.82	-2.99
с.к.о., зв.вел	0.04	0.05	0.05	0.07	0.12
Поток, Вт мкм ⁻¹ м ⁻²	1.08×10^{-8}	4.88×10^{-9}	1.84×10^{-9}	3.81×10^{-10}	3.30×10^{-10}
Яркость, Вт мкм ⁻¹ м ⁻² стер ⁻¹	13.37	6.37	2.29	0.50	0.41
Яркость, эрг с ⁻¹ см ⁻¹ стер ⁻¹	2.09	1.67	1.11	0.61	0.95
Альbedo	0.054	0.056	0.054	0.060	0.158

Таблица 2.5.1.

2.6 Массивы взаимодействующих квантовых точек в качестве элементной базы квантовых нейронных сетей для квантовых систем искусственного интеллекта.

В области квантовых систем искусственного интеллекта, перспективных для бортового применения, проводились следующие исследования: 1) Проводилось численное моделирование квантовой нейронной сети из трех кубитов, реализуемой в виде системы из трех квантовых точек с диполь-дипольным взаимодействием между ними и общим фононным термостатом; 2) Аналитически и численно исследовалась возможность существования подпространств, свободных от декогерентности в системах с $N > 2$ квантовых точек при температурах 50-300К; 3) Исследовалось влияние симметрии гамильтониана в системах трех квантовых точек на спектр энергии, вырождение энергетических уровней, и формирование инвариантных подпространств в присутствии общего фононного термостата. В результате данных исследований была численно продемонстрирована инвариантность квартетного состояния в системе трех кубитов с диполь-дипольным взаимодействием между ними и общим фононным термостатом. В следующем году планируется продолжить данные исследования, уделив внимание изучению возможности применения квантовых нейронных сетей к обработке квантовых изображений, а также к задачам передачи информации.

2.7 Исследование возможностей применения космических данных для улучшения оценок риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы. Разработка методики использования космических данных при оценке и управлении

риском. Продолжение практических работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы от действующих и строящихся предприятий, а также от транспортных потоков в городах.

Показано, что привлечение данных ИСЗ Landsat в процессе модельного расчета рассеяния в воздухе индустриальных загрязнений целесообразно. Такие данные и разработанная методика их использования способны улучшить точность оценок риска для здоровья населения от индустриального загрязнения воздуха и управления риском на десятки процентов. Выполнены расчеты по оценке и управлению риском для некоторых предприятий г. Москвы. Результаты по применению данных ИСЗ Landsat могут считаться удовлетворительными: ошибка расчетного острого риска снижается в среднем до 17–20% (до 30% в отдельных районах). Это заметно лучше, чем по стандартным картам MODIS (MCD12Q1) и GLC30 (в среднем 35–42%, до 2.5–3.5 раз в отдельных районах). Эти результаты могут быть положены в основу экологической экспертизы и определения территорий санитарно-защитных зон строящихся предприятий.

2.8 Продолжение разработки теоретических и алгоритмических основ применения теории оптимального управления к информационному циклу управления состоянием экологических объектов с использованием аэрокосмических данных, включая оптимизацию средств наблюдений. Тестирование такого цикла на компьютерных имитационных моделях с использованием реальных данных.

Разрабатывались теоретические и алгоритмические основы концепции оптимального управления состоянием экологических объектов с рассмотрением трех уровней: геосферного, биосферного и ноосферного на основе теории оптимального управления, благодаря общности структуры протекающих в них информационных процессов. Эти процессы включают в себя гомеостаз, накопление и расходование информации, формирование иерархических информационных структур, эволюцию, включающую слом гомеостаза и т. п. Циклическая логика оптимального управления с обратной связью оказывается лучше адаптированной к биосферным и ноосферным процессам чем обычная причинно-следственная. Практическая реализация цикла оптимального управления состоянием экологических процессов в биосфере предполагает использование адекватных средств наблюдения – аэрокосмических данных. Проведено тестирование такого подхода с использованием данных ИСЗ Landsat на примере управления риском для здоровья населения.

2.9 Развитие математического обеспечения для первичной и вторичной обработки прибора BMSW, входящего в состав эксперимента «Плазма-Ф».

Проведение систематической обработки и архивации данных.

1. Продолжалась работы по разработке новых и модификации существующих программ для первичной обработки данных эксперимента BMSW, входящего в состав эксперимента "Плазма-Ф", полученных с помощью штатной телеметрической системы и через ВИРК.

2. Регулярно проводилась систематическая обработка полетных испытаний прибора BMSW, включая работы в Группе управления. Выполнена обработка данных для 690 сеансов связи.

3. Регулярно проводилась сверка бортового времени прибора BMSW и московского декретного времени. По полученным результатам проводилась привязки измерений к всемирному времени (UT).

4. Осуществлялся поиск больших возмущений в солнечном ветре, регистрируемых прибором прибором BMSW.

5. Регулярно проводилась работы по определению уровней фототоков для детекторов прибора BMSW.

6. Результаты первичной обработки заносятся в систему архивации и распределения данных приборов эксперимента "Плазма-Ф" на КА СПЕКТР-Р.

2.10 Разработка метода компрессии изображений с фиксированным коэффициентом сжатия для использования на борту КА.

Была продолжена работа над методом сжимающего кодирования статических изображений на основе двумерного дискретного косинусного преобразования (DCT), обеспечивающим фиксированный коэффициент сжатия (либо не меньший заданного), позволяющим повысить устойчивость кодированных данных к возможным искажениям при передаче по каналу связи, и обладающим относительно невысокой вычислительной сложностью.

Разработанная схема кодирования предполагает выполнение следующих операций: разбиение кодируемого изображения на пиксельные блоки, над каждым из которых (подобно JPEG) выполняется DCT. Коэффициенты DCT размещаются по плоскостям (каждый – в своей). Плоскости, соответствующие низкочастотным коэффициентам, так же, как в стандарте JPEG, квантуются, но перед выполнением энтропийного сжатия квантованные коэффициенты DCT кодируются с использованием двумерного адаптивного предсказателя, что дополнительно сокращает избыточность кодируемых данных. Для

энтропийного сжатия используется разработанная в ИКИ РАН адаптивная реализация кода Голомба (АКГ). Плоскости, соответствующие высокочастотным коэффициентам, непосредственно не квантуются, а поразрядно кодируются с использованием АКГ и в соответствии с установленными квотами (определяемыми номером коэффициента DCT) помещаются в выходной буфер требуемого размера до его заполнения. Потеря как отдельно взятой плоскости коэффициентов, так и нескольких таких плоскостей при передаче кодированных данных, естественно, приводит к снижению уровня PSNR, но визуально такого рода искажения не оказывают заметного влияния на качество восстановленного изображения.

С точки зрения вычислительной сложности предлагаемый метод сжатия сравним с JPEG, но обеспечивает как правило меньший уровень искажений при сравнимых коэффициентах сжатия, а кодированные данные обладают большей устойчивостью к возможным потерям при передаче.

Результаты разработки предполагается представить на ежегодной конференции «Техническое зрение в системах управления - 2018»

2.11 Обработка изображений линии горизонта в интересах решения навигационных задач.

В связи с крайне низкой устойчивостью систем спутниковой навигации к искусственным помехам в настоящее время активизировались исследования по расширению числа источников навигационной информации. Особенно большое внимание таким исследованиям уделяется в США, в частности через Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), и в Китайской Народной Республике. Линия горизонта используется в системах оптической навигации для оценки ориентации местной вертикали, что в сочетании со звездными датчиками, либо с результатами наблюдения Солнца, Луны или планет Солнечной системы позволяет определить координаты точки наблюдения, в том числе мобильных объектов. При наличии цифровой карты высот возможно не только определение местной вертикали, но и корреляционно-экстремальная навигация по профилю визируемой линии горизонта. В последнем случае наблюдение звезд, Солнца, Луны или планет Солнечной системы не является обязательным для решения навигационной задачи.

Для оценки степени вариаций зенитного угла линии горизонта, обусловленных как нестабильностью атмосферной рефракции, так и неоднородностью и нестабильностью содержания аэрозолей в атмосфере, а также для оценки перспективности использования поляризационных светофильтров (уменьшающих влияние рассеянного атмосферой

излучения) для выделения горизонта, была разработана и запущена в эксплуатацию описываемая ниже аппаратура.



Рисунок 2.11.1 - Внешний вид аппаратуры и место ее установки на стене обсерватории.

1 – поляризационные светофильтры перед камерами; 2 – камера без поляризационного светофильтра; 3 – три микрокомпьютера; 4 – питание 5 В.

Аппаратура содержит три камеры с полем зрения 62×54 градуса, дающих цветное RGB изображение 3280×2464 пикселей (сенсор Sony IMX219 Exmor) в формате BMP. Перед двумя камерами были дополнительно установлены поляризационные светофильтры с главными осями ориентированными параллельно и перпендикулярно линии горизонта. Камеры установлены на площадке телескопа Цейсс-1000 Института астрономии РАН, вблизи п. Симеиз на высоте 370 м над уровнем моря. Ориентировочная дальность до горизонта с этой высоты составляет 72 км.

Управление камерами и прием информации от них осуществляется одноплатными компьютерами Raspberry Pi, использующими ARM-микропроцессор BCM2835. Компьютеры работают под ОС Linux, программа управления написана на языке Python. Три компьютера с камерами включаются и начинают работать при подаче на них напряжения и, используя WiFi-соединение, через роутер связываются с сетью Интернет и с компьютерами локальной сети. Программирование работы камер осуществляется дистанционно по сети Internet. Внешний вид камер и места их установки представлен на рисунке 2.11.1.

Камеры работают круглосуточно, записывая полученные изображения в сжатом виде на Яндекс-диск, откуда периодически переписываются исследователями на их носители информации для дальнейшей обработки.

Предварительный анализ полученных данных показывает значительную нестабильность линии горизонта и слабую корреляцию малых флуктуаций по разным азимутам. На рисунке 2.11.2 представлен график положения линии горизонта на 100 изображениях, свободных от тумана и облаков.

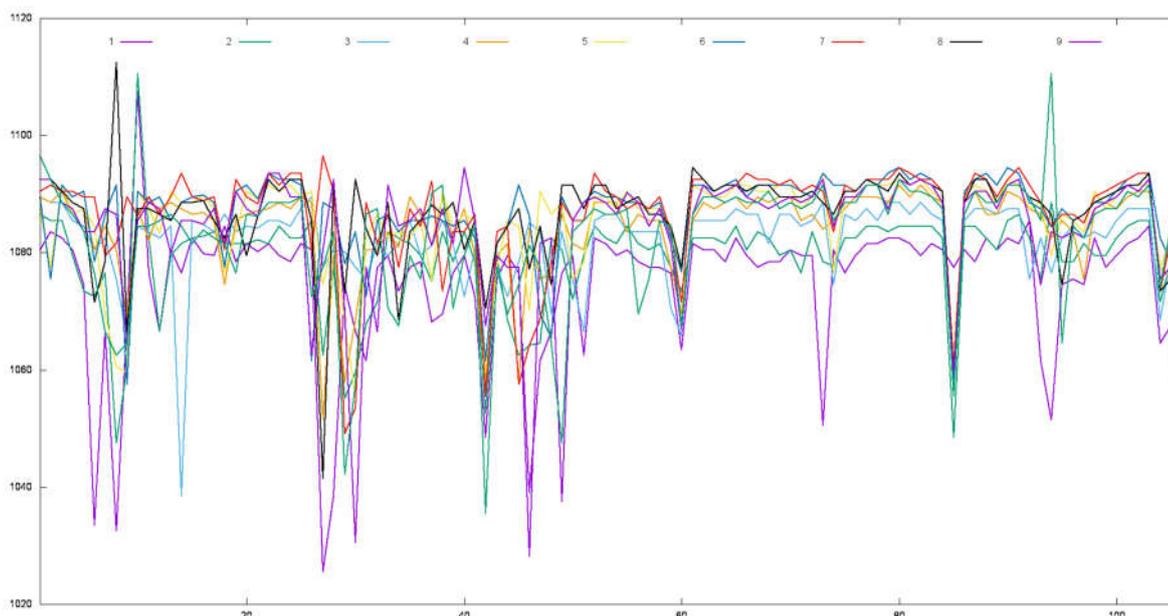


Рисунок 2.11.2 - Положение линии горизонта по десяти направлениям в поле зрения камер. Использовано 100 снимков, свободных от облаков и тумана. По вертикальной оси графика отложены пиксели.

Предварительный анализ полученных данных также указывает на улучшение выделения линии горизонта при ориентации оси поляроида таким образом, чтобы исключить однократно рассеянное солнечное излучение. Однако, ситуация из-за наличия отражения от морской поверхности, возможно, более сложная и требует дополнительного изучения. Пример построения профилей яркости утренней съемки 29.10.2017 представлены на рисунке 2.11.3.



Рисунок 2.11.3 - Профили яркости утренней съемки. По вертикали графика отложена яркость, по горизонтали – угловое расстояние в пикселях от наземного ориентира. Один пиксель, соответствует примерно, одной угловой минуте. Направление на горизонт - около 110 пикселя.

2.12 Разработка интерактивной системы визуализации положения марсохода на Web-ресурсах.

Марсоход Curiosity был отправлен на Марс в ноябре 2011 года и прибыл к месту назначения в августе 2012-го. Осенью 2014-го аппарат добрался до одной из главных целей своей миссии — горы Эолида. За время своего пребывания на Красной планете марсоход собрал и передал на Землю большое количество важных научных данных.

В 2020 году планируется отправка к Марсу нового планетохода, основанного на конструкции предыдущего марсохода Curiosity. В связи с этим начата разработка системы визуализации положения марсохода на Марсе. В основу системы положено свободно распространяемое ПО Blender для трёхмерного моделирования и анимации, а также дополнительный продукт Blend4web для визуализации контента в сети интернет.

Основные требования к параметрам системы визуализации: максимально приближенная к реальной сцена, показывающая место нахождения объекта на Марсе, освещённость, тени. Также модель должна передавать механику взаимодействия марсохода с поверхностью Марса. Для создания модели марсианского ландшафта используются следующие наборы данных о Марсе:

1. Данные низкого разрешения, пригодные для общего ориентирования на Марсе.
2. Данные среднего разрешения Mars Global Surveyor для визуализации ландшафта. Разрешение от 4 до 512 пикселей на градус.
3. Данные высокого разрешения HIGH RESOLUTION IMAGING SCIENCE EXPERIMENT (HIRISE). Разрешение составляет 1 м на поверхности Марса.

С помощью программы Blender по данным низкого разрешения была создана текстурированная трёхмерная модель Марса, пригодная для визуализации на интернет-

страницах при помощи продукта Blend4web. Имеется возможность построения интерактивной модели с возможностью управления ровером для отработки возможных действий на Марсе.

Особенностью разрабатываемой технологии являются низкие требования к клиентской части. Пользователю достаточно иметь только компьютер, подключённый к сети интернет. Установка каких-либо программ для работы с системой не требуется. Данные высокого разрешения представлены в виде коллекции из 468 изображений отдельных участков поверхности Марса в растровом формате *.IMG. Blender содержит модуль импорта таких данных.

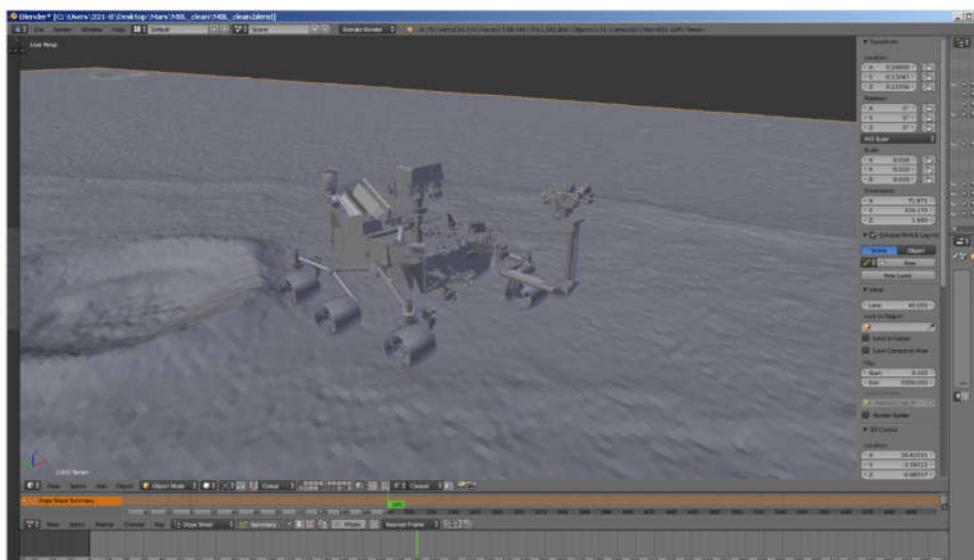


Рисунок 2.12.1 - Пример цифровой модели ровера и участка марсианской поверхности, импортированной в Blender.

В качестве системы отображения имеющихся и разрабатываемых моделей возможно применение шлемов виртуальной и очков дополненной реальности. Необходимая поддержка такого оборудования имеется в Blender, Blend4Web и последней версии интернет-браузера FireFox. Таким образом, определён необходимый инструментарий для реалистичного отображения участков марсианской поверхности с помещённой на неё 3-х мерной моделью ровера.

Говоров А.В. gffinator@gmail.com

Раздел 3 КОСМОС

3.1 Модернизация и развитие научной космической сети «КОСМОС»

В течение 2017 года была произведена существенная модернизация внутреннего корпоративного сегмента ЛВС ИКИ РАН. В рамках проведенных работ были введены в штатную эксплуатацию механизмы единого входа (Single sign-on) с централизованным хранением пользовательских данных. В ходе модернизации были активно задействованы технологии виртуализации операционных систем, что улучшило безопасность, надежность и управляемость сервисов.

В рамках дальнейшего развития сети «КОСМОС» был получен блок публичных адресов IPv6, выполнены предварительные работы по организации внутренней и внешней связности по протоколу IPv6.

Выполнен ряд работ по увеличению скорости обмена данными с научными партнерами по сети Интернет. В частности, выявлены и устранены узкие места в сегментах ЛВС ИКИ РАН, оптимизирован режим работы исходящих очередей для сетевого оборудования. В результате выполненных работ удалось повысить среднюю скорость обмена данными между ИКИ РАН и астрономическим центром ЕКА (Мадрид, Испания) с 200 Мбит/с до 400 Мбит/с.

Выпущена новая версия открытого программного пакета UDTGATE (<https://sourceforge.net/projects/udtgate/>), позволяющего создавать высокопроизводительные сетевые транспортные туннели для интенсивного обмена данными по магистральным каналам. В частности, устранены ошибки, приводящие к сбоям ПО, и добавлены дополнительные режимы работы. Новая версия ПО позволяет организовать полностью прозрачный режим работы для пользовательских приложений. В настоящее время она штатно эксплуатируется на направлении Москва - Франкфурт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2017 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 2017 г. было опубликовано 57 научных публикаций. Из них опубликовано:

- статьи в зарубежных изданиях - 10
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 11
- монография - 1
- статьи в сборниках материалов конференций - 4
- доклады, тезисы, циркуляры - 30
- статьи в научно-популярных изданиях - 1
- публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными – 12

Наиболее важные результаты, полученные по теме «Управление»:

1. В результате исследований *д.ф.-м.н., в.н.с. А.С. Ковалевой* были изучены возможности управления резонансными режимами цепи осцилляторов при помощи медленного изменения частот возбуждения и/или собственных частот осцилляторов. Обнаружены два типа процессов: захват в резонанс под действием внешней периодической силы с медленно возрастающей частотой, сопровождающийся увеличением амплитуд колебаний нелинейных осцилляторов, и снижение амплитуд резонансных колебаний при медленном уменьшении собственной частоты возбудителя. Полученные теоретические и численные результаты открывают возможности эффективного управления резонансными режимами в цепных системах различной физической природы.

2. Перспективность квантовых вычислительных систем обусловлена тем, что они способны решать экспоненциально сложные задачи за полиномиальное время. К настоящему времени коммерчески доступные системы такого типа на основе SQUID имеют рабочую температуру меньше одного градуса Кельвина, что делает невозможной их миниатюризацию и бортовое применение. Исключительно важна разработка элементной базы и алгоритмов, которые бы позволили решать задачи оптимизации с использованием квантового параллелизма при обычных температурах. Одним из направлений исследований здесь является создание таких систем на основе массивов квантовых точек (КТ), или подобных им элементов, с управляемым взаимодействием между ними. В рамках исследований выполняемых в ИКИ РАН *д.ф.-*

м.н., в.н.с. М.В. Алтайским, проведено численное моделирование систем, состоящих из двух и трех КТ. Показана возможность существования запутанных состояний в системе двух КТ вплоть до обычных температур. Для системы трех КТ показана возможность локализации эволюции квантовых состояний в рамках мультиплетов $SU(2)$, что является аналогом существования подпространств, свободных от декогеренции, и при определенных условиях должно обеспечивать возможность работы квантовых симуляторов при обычных температурах. С теоретической точки зрения, проводимые исследования также могут быть полезны для объяснения работы мозга, во многом аналогичной квантовой симуляции.

В заключение отметим, что работы по теме «Управление» проводились в соответствии с утвержденным планом и полностью выполнены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Публикации по теме **УПРАВЛЕНИЕ**

Статьи в зарубежных изданиях

1. A. Kovaleva. Control of autoresonance in mechanical and physical models. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 375, 20160213. 2017. **(IF 2.147)**.
2. A. Kovaleva, L.I. Manevitch. Internal autoresonance in coupled oscillators with slowly decaying frequency. *Physical Review E*, vol. 96, 032213 (1-7), 2017. **(IF 2.366)**.
3. A. Kovaleva. Energy transfer in autoresonant Klein-Gordon chains, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 361 28–34, 2017. **(IF 1.514)**. Грант РФФИ 16-02-00400.
4. Kovalenko, I. D., Doressoundiram, A., Lellouch, E., Vilenius, E., Müller, T., & Stansberry, J. (2017) "TNOs are Cool": A survey of the trans-Neptunian region. XIII. Statistical analysis of multiple trans-Neptunian objects observed with Herschel Space Observatory. *Astronomy and Astrophysics*, forthcoming article (accepted 18 September 2017), **(IF 5.014)**. doi:10.1051/0004-6361/201730588
5. Kovalenko, I. D., Stoica, R. S., Emelyanov, N. V. Maximum a posteriori estimation through simulated annealing for binary asteroid orbit determination. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 471, Issue 4, 11 November 2017, Pages 4637–4647, **(IF 4.961)**. doi:10.1093/mnras/stx1899
6. M. V. Altaisky, N. N. Zolnikova, N. E. Kaputkina, V. A. Krylov, Yu. E. Lozovik, N. S. Dattani. Entanglement in quantum neural network based on quantum dots. *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*, Vol. 24, pp. 24-28, 2017. doi:10.1016/j.photonics.2017.02.001.
7. B.M. Balter, M.V. Faminskaya. Irregularly emitting air pollution sources: acute health risk assessment using AERMOD and the Monte Carlo approach to emission rate. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2017, Volume 10, Issue 4, pp 401–409. **(IF 3.184)**. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-016-0428-x>
8. Grishin V. A., Maslov I. A. Horizon Line Stability Observations over the Sea // *The Journal of Navigation*. Published online: 02 October 2017, pp. 1-17. **(IF 1.586)**. <https://doi.org/10.1017/S0373463317000650>
9. J. Tony, S Subarna, K. S. Syamkumar, G. Sudha, S. Akshay, E. A. Gopalakrishnan, E. Surovyatkina & R. I. Sujith. Experimental investigation on preconditioned rate induced tipping in a thermoacoustic system. *Scientific Reports - Nature*, 2017 Jul 14; 7(1):5414.

(IF 4.259). doi:10.1038/s41598-017-05814-y. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-05814-y>

10. Chandrakala Meena, Elena Surovyatkina, and Sudeshna Sinha. Coexistence of attractors in a coupled nonlinear delayed system modelling El Niño Southern Oscillations. Pramana - Journal of Physics, Springer Science, Indian Academy of Sciences, Conference Series, Volume 1, Issue 1. in press 2017. (IF 0.520).

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

11. И.А. Маслов, В.И. Шенаврин, А.В. Григорьев, Б.Е. Мошкин, А.В. Шакун. ИЗМЕРЕНИЕ АЛЬБЕДО МАРСА В БЛИЖНЕЙ ИК-ОБЛАСТИ СПЕКТРА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ПРИБОРА ТИРВИМ МИССИИ ЭКЗОМАРС-2016. Астрономический Циркуляр № 1635, 2017, февраль 9.
12. А. В. Захаров, Н. А. Эйсмонт, В. М. Готлиб, В. М. Смирнов, О. В. Юшкова, В. Н. Марчук. РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ В ПЛАНИРУЕМОЙ МИССИИ К ФОБОСУ, АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 2017, том 51, № 5, с. 1–15. Импакт фактор (2015) **0.638**
13. Прохоренко В.И. О динамических основах теории Лидова–Козаи // Письма в Астрон. журн. 2018, том 44, №1, с. 52-70.
14. Б. М. Балтер, Д. Б. Балтер, В. В. Егоров, М. В. Стальная, М. В. Фаминская. Классификация местности по данным ИСЗ Landsat для улучшения точности оценок риска здоровью населения от индустриального загрязнения воздуха. «Исследование Земли из космоса», 2017, № 5, С. 49–56. Импакт-фактор РИНЦ **1,055**. (РФФИ). <https://cloud.mail.ru/public/APH6/kjWkFedd5>
15. В.М. Balter, M.V. Faminskaya. Noosphere as optimal control. Part 1. Control Theory, Geosphere and Biosphere. Philosophy and Cosmology, Volume 19, 2017, pp 12–33 (Импакт-фактор РИНЦ **0,361**). <http://ispcjournal.org/en/2017-19.html>
16. А.Н.Виноградов, В.В.Егоров, А.П.Калинин, А.И.Родионов, И.Д.Родионов, И.П.Родионова. Авиационная система дистанционного мониторинга Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне (400-1700 нм) // Датчики и системы. 2017. №5. С. 32-36. (Импакт-фактор РИНЦ **0,457**, CI 0,72).
17. А.Н.Виноградов, В.В.Егоров, А.П.Калинин, А.И.Родионов, И.Д.Родионов Гиперспектрометр ближнего инфракрасного диапазона 900 - 1700 нм // Оптический журнал Т.84. №10 /Октябрь 2017./ С. 42-47 WEB of Science (IF 0,299).
18. А.Н.Виноградов, В.В.Егоров, А.П.Калинин, А.И.Родионов, И.Д.Родионов, И.П. Родионова. «Исследование возможностей гиперспектральной съемки для

- мониторинга состояния водных объектов». Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса . 2017. Т . 14. № 2. С. 125–134. DOI: 10.21046/2070-7401 -2017-14-2-125-134. (Импакт-фактор РИНЦ **1,077**, индексируется в Scopus).
19. Аксенов С.А., Бобер С.А., Расчет и исследование ограниченных орбит вокруг точки либрации L2 системы Солнце-Земля. Принята к печати в журнале Космические исследования (№2 2018 г.).
20. Полякова Т.В., Харах Я. Н., Арутюнов С.Д. Основы геометрического моделирования несъемных временных зубных протезов-прототипов // «Российский журнал биомеханики» – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2017. №4. 8 с. (принята в печать)
<http://vestnik.pstu.ru/biomech/about/inf/>
21. Е. Д. Суровяткина. Долгосрочный прогноз летнего муссона в Индии, «Природа» №2 (1218) Февраль 2017, 4.

Монографии, учебники

22. L.I. Manevitch, A. Kovaleva, V.Smirnov, Yu. Starosvetsky. Nonstationary Resonant Dynamics of Oscillatory Chains and Nanostructures, 436 pages. Springer, 2017

Статьи в сборниках материалов конференций

23. М.Н. Жижин, К.Д. Элвидж, А.А. Пойда, Мультиспектральное дистанционное зондирование ночной поверхности Земли, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 9-26 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-9-26
24. Christopher D Elvidge, Kimberly Baugh, Mikhail Zhizhin, Feng Chi Hsu and Tilottama Ghosh. VIIRS night-time lights. INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 2017 VOL. 38, NO. 21, 5860–5879
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1342050>
https://www.researchgate.net/publication/317904171_VIIRS_night-time_lights
25. Полякова Т.В., Гаврюшин С.С., Арутюнов С.Д. Биомеханическое моделирование стоматологических протезов на временных имплантатах // Труды XIX научно-технической конференции «Медико-технические технологии на страже здоровья» (МЕДТЕХ-2017) – М: НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - с. 62-64.

26. Гаврюшин С.С., Антипова А.В., Демишкевич Э.Б., Полякова Т.В., Удальцов А.С., Шиляев В.П. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Институт космических исследований РАН). Использование конечно-элементного моделирования при планировании и проведении высокотехнологичных хирургических операций // Труды 2-ой Всероссийской научно-технической конференции «Механика и математическое моделирование в технике», 22-23 ноября 2017 г. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 4 с.

Доклады, тезисы, циркуляры

27. M.V.Altaisky, N.E. Kaputkina, V.A. Krylov. Symmetry and decoherence-free subspaces in quantum neural networks. Доклад на международной конференции SYMPHYS XVII, <http://theor.jinr.ru/~symphys/2017/>, г. Ереван, 9 – 15 июля 2017г.
28. Н.Е.Капуткина, М.В.Алтайский. Системы квантовых точек и перспективы их применения для квантового компьютеринга; Тезисы XVI Международной школы-конференции “Проблемы физики твердого тела и высоких давлений” /стр. 89-90, ФИАН, Москва, 2017, <http://school.lpi.ru/>
29. Ravil Nazirov, Natan Eismont, Vadim Arefiev, Fedor Koritkov, Andrei Pogodin, Evgeny Mihailov, Pavel Mjelsky, Andrei Tregubov, Alexey Ditrikh. Mission Design Problems for Spectrum-Roentgen-Gamma Project. 26 Симпозиум по динамике космических полетов ISSFD 26, Matsuyama, Japan 3-9 июня 2017 г.
30. A. Zakharov, N. Eismont, F. Korotkov. Complementary studies in Phobos and Deimos samples return missions. Конференция в рамках SpaceOps 2017, Москва, июнь 2017.
31. R.Nazirov, N.Eismont, L.Zelenyi, V.Nazarov, I.Kovalenko. Final phase of life operations for spacecraft to keep space clean. Конференция в рамках SpaceOps 2017, Москва, июнь 2017.
32. L. Zasova, D. Senske, T. Economov, N.Eismont, et al. Venera-D – Concept Mission to Venus: Scientific Goals and Architecture. Европейский Конгресс по планетным исследованиям (European Planetary Science Congress), Рига, Латвия, 2017, 17-22 September.
33. Прохоренко В.И. Динамические основы теории Лидова–Козаи // Доклад на заседании координационного совета ГАИШ МГУ им. Ломоносова 11 апреля 2017. Презентация доклада: <http://www.sai.msu.ru/neb/rw/cm-semin.htm>
34. Прохоренко В. И. О математических аспектах и динамических основах теории Лидова–Козаи // Тезисы докладов на «Международной конференции по математической теории управления и механике». Суздаль 7-11 июля 2017. С. 113.

35. Б. М.Балтер, В.В.Егоров, В.А.Котцов, М.В. Фаминская. Распознавание объектов и их состояний на основе корреляционных портретов с применением в модели рассеяния атмосферных загрязнений. XV Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов». 13–17 ноября 2017 года. Москва, ИКИ РАН. Тезисы докладов. (РФФИ).
http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6224
36. Котцов В.А., Балтер Б.М., Егоров В.В. Способ преобразования изображения. 20-й Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед». (Серебряная медаль). 16-19 мая 2017 г. <http://www.archimedes.ru/itogisalona>
37. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. Исследование возможностей авиационной гиперспектральной съемки для оценки состояния водных объектов Научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления - 2017». Тезисы докладов. Москва, 14-16 марта 2017 г., С. 13-14. <http://tvcs2017.technicalvision.ru/>
38. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. Гиперспектрометр ближнего ИК-диапазона и возможности его совместного использования с гиперспектрометром видимого диапазона. Научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления - 2017». Тезисы докладов Москва, 14-16 марта 2017, С. 11-12.
<http://tvcs2017.technicalvision.ru/>
39. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. Узкоугольный гиперспектрометр (угол зрения 3,50) видимого и ближнего инфракрасного диапазона. Тезисы XXIX симпозиума «Современная химическая физика», Туапсе, 17-28 сентября 2017 г. стр.233. www.chemphysics.ru.
40. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. Использование ультрафиолетовых и гиперспектральных сенсоров для изучения коронных разрядов, процессов, горения и взрыва. Тезисы XXIX симпозиума «Современная химическая физика», Туапсе, 17-28 сентября 2017 г., С. 234. www.chemphysics.ru.
41. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. «Возможности использования бортовых УФ-С сенсоров в задачах навигационного обеспечения экипажа летательного аппарата». Тезисы Третьей

- Всероссийской научно-технической конференции «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами» Москва-Раменское, 21-22 сентября 2017. Т. 1, С. 174-175.
42. Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. «Возможности использования бортового гиперспектрального сенсора как элемента информационно-управляющего поля кабины летательного аппарата» Тезисы Третьей Всероссийской научно-технической конференции «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами». Москва-Раменское, 21-22 сентября 2017, т. 1, С. 176-178.
43. Маслов И.А., Гришин В.А., Николенко И.В. Аппаратура для исследования положения линии морского горизонта в видимой области спектра с использованием поляризационных светофильтров // Пятнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". М: ИКИ РАН, ноябрь 13 - 17, 2017. С. 145.
http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6153
44. Коваленко И.Д., Эйсмонт Н.А. Схема выведения аппарата Спектр-Рентген-Гамма с использованием гравитационного маневра у Луны. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра НЕА-2017». Москва, 2017, 18-21 декабря.
45. G. Trifonov, M. Zhizhin, D. Melnikov, A. Poyda. One year of Kamchatka volcanoes live observation with VIIRS Nightfire, EGU General Assembly Conference Abstracts 19, 11553
46. Elena Surovyatkina, Veronika Stolbova, and Jurgen Kurths. Early forecasting of Indian Summer Monsoon: case study 2016. European Geosciences Union General Assembly (EGU2017), Vienna, Austria, 23-28 April 2017. Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-10809, 2017. meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-10809.pdf
47. Elena Surovyatkina, Veronika Stolbova, and Jurgen Kurths. Predicting onset and withdrawal of Indian Summer Monsoon in 2016: results of Tipping elements approach. European Geosciences Union General Assembly (EGU2017), Vienna, Austria, 23-28 April 2017. Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017- 4149, 2017. meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-4149.pdf
48. Elena Surovyatkina, Veronika Stolbova, and Jurgen Kurths. Early forecasting of Indian Summer Monsoon: case study 2016. European Geosciences Union General Assembly

- (EGU2017), Vienna, Austria, 23-28 April 2017.
meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-10809.pdf
49. Elena Surovyatkina, Veronika Stolbova, and Jurgen Kurths. Predicting onset and withdrawal of Indian Summer Monsoon in 2016: results of Tipping elements approach. European Geosciences Union General Assembly (EGU2017), Vienna, Austria, 23-28 April 2017. meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-4149.pdf
50. Elena Surovyatkina. Critical phenomena and downscaling criticality in tipping elements in the Earth system. Sydney Chapman Chair Lecture Series, The University of Alaska Fairbanks, College of Natural Science and Mathematics, Fairbanks, USA, 1 September 2017. <http://cnsm.uaf.edu/chapman-chair/#1501886690315-4b503640-3144>
51. Elena Surovyatkina. Tipping elements approach for long-term seasonal prediction: Observational evidence. Sydney Chapman Chair Lecture Series, The University of Alaska Fairbanks, College of Natural Science and Mathematics, Fairbanks, USA, 7 September 2017. <http://cnsm.uaf.edu/chapman-chair/#1501887192713-e8efbd2c-ab6a>
52. Elena Surovyatkina. Early forecasting of Indian Summer Monsoon: case study 2017. The Impacts World 2017 International conference (IW2017), Potsdam, Germany, 11-13 October, 2017 <https://www.impactsworld2017.org/program-speakers/workshops/#c9>
53. Жижин М.Н., Элвидж К., Пойда А.А., Тютляева Е.О., Коноплев В.В. Мониторинг ночных судовых огней по данным VIIRS // Доклад на конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2017. ИКИ РАН
54. Балашов И.В., Бурцев М.А., Сычугов И.Г., Константинова А.М., Прошин А.А., Толпин В.А. Батанов О.В., Назаров В.Н., Коротков Ф.В. Система ARES для работы с данными наблюдения Марса/ XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13-17 ноября 2017. Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
55. Oleg Batanov, Vladimir Nazarov, Fedor Korotkov, Yaroslav Markov, Veniamin Konoplev, Anton Melnik, Alexey Tretiakov, Andrey Mischenko, Russian Science Ground Segment and IKI activities on receiving ExoMars 2016 Science Data. 6th European Ground System Architecture Workshop (#ESAW2017) at the European Space Operations Centre, Darmstadt, Germany, 20-21 June 2017.
http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/gse/ESAW_2017.
56. Daniel Firre, Vladimir Nazarov, Valery Grachev. Modernization of Russian Deep Space Antennas Russian-European cooperation for ExoMars. MAKS-2017, Moscow, 2017.

Научно-популярные издания

57. Н. А. Эйсмонт, О.В. Батанов "Экзо-Мартс": от миссии 2016 к миссии 2020, Наука и Жизнь, №4, 2017, с. 2-14