
**ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»,
посвящённая 90-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея
*Реутов-Москва, май 2004***

Предисловие к научным материалам Первой МНТК-2004

Первая международная научно-техническая конференция (МНТК-2004) «Аэрокосмические технологии», посвященная 90-летию академика В.Н. Челомея, прошла 24 – 25 мая 2004 года в Реутове, наукограде РФ, и в Москве. Научное руководство конференцией осуществляли: генеральный конструктор – генеральный директор ФГУП «НПО машиностроения», профессор Г.А. Ефремов, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, член-корреспондент РАН, профессор И.Б. Фёдоров и президент Союза учёных и инженеров имени академика В.Н. Челомея академик К.В. Фролов.

Организаторы конференции – МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГУП «НПО машиностроения». Организационную поддержку оказали: Союз учёных и инженеров имени академика В.Н. Челомея, ФГУП «ОКБ Вымпел», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, администрация г. Реутова и Отдел по науке, технологии и космосу посольства Франции в России. Состав оргкомитета: Р.П. Симо́ньянц (председатель), Е.Г. Куранов, А.В. Хромушкин, О.Н. Тушев, В.Н.Талызин, А.Н. Груздь, Ю.А. Цуриков, Ю.С. Козлов, Л.А. Крылова, С. Ivanov-Troignon.

Для участников конференции в МГТУ им. Н.Э. Баумана Т.И. Агеева и Г.А. Базанчук подготовили экспозицию уникальных экспонатов, посвященных юбилею В.Н. Челомея. В Реутове, в ДК «Мир», В.В. Телков подготовил тематическую выставку достижений научно-инженерной школы академика В.Н. Челомея.

Информационно-техническое обеспечение работы конференции осуществляли М.А. Курков и Г.П., Орлова, А.В. Бибер с группой студентов Аэрокосмического факультета.

Тематика докладов на конференции охватывала следующие *научные направления*:

1. Проблемы проектирования и создания аэрокосмических систем.
2. Прикладные задачи математического моделирования.
3. Компьютерные системы и технологии.

4. Динамика движения и системы управления.
5. Нелинейная механика и теория нелинейных процессов управления.
6. Вопросы экономики и менеджмента.
7. Новые технологии подготовки специалистов.

Был сформирован научный комитет, который руководил работой конференции. Всего состоялось 17 заседаний: 2 пленарных и 15 секционных. Первое пленарное заседание прошло в Реутове, в Деловом комплексе «Мир» под председательством Г.А. Ефремова. Тематическое направление этого заседания: «Научно-инженерная школа академика В.Н. Челомея». Оно было посвящено 90-летию со дня рождения В.Н. Челомея. На нём выступили Е.Г. Юдин, Д.К. Драгун, Г.Д. Дермичев, Ю.Ф. Подоплёкин, Ю.С. Козлов, Р.П. Симоньянц.

По направлению 1 работало 3 секции. Секцией «Проектирование ракет» руководили Г.А. Ефремов, А.Г. Леонов, Ю.А. Цуриков, В.М. Киселёв, М.А. Хомяков и Б.Н. Натаров. Секцией «Аэрокосмические системы и КЛА» руководили В.В. Витер, И.С. Епифановский, Е.Г. Куранов, Г.Ф. Реш. Заседания этих секций состоялись 24 мая в Реутове, в Деловом комплексе (ДК) «Мир» НПО машиностроения. Секция «Стартовые комплексы. Системы амортизации» проходила 25 мая в Москве, в ОКБ «Вымпел». Работой секции руководили: Д.К. Драгун, В.И. Нефёдов, А.Н. Груздь, А.И. Забегаев, Б.Е. Можейко.

В ОКБ «Вымпел» 25 мая состоялось расширенное заседание Президиума Союза учёных и инженеров имени академика В.Н. Челомея под председательством директора Союза В.Н. Талызина.

По направлению 2 работало 3 секции. Секции «Динамика упругих конструкций», «Численные методы в механике» и «Прикладная математика» проходили в МГТУ им. Н.Э. Баумана 25 мая. Работой секций этого научного направления руководили О.Н. Тушев, Ю.И. Ключев, Ю.И. Виноградов; Ю.И. Димитриенко, Б.Г. Попов; В.С. Зарубин, Г.А. Несененко, В.И. Станкевич.

По направлению 3 работали 2 секции. Секция «Информационные технологии в приложениях» работала 25 мая под руководством В.В. Сюзева, И.В. Солодовникова, В.А. Овчинникова, В.В. Тимофеева в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Секция «Обработка полётной информации и изображений» заседала 24 мая, её работой руководили В.В. Савельев И.В., В.В. Скоробатюк, П.А. Широков.

По направлению 4 работали секции «Новые алгоритмы управления», «Динамика управляемого движения» (25 мая, МГТУ им. Н.Э. Баумана) и секция «Системы управления ЛА» (24 мая, Реутово). Работой секций руководили К.А. Пупков, В.А. Матвеев, А.И. Бурганский,

К.А. Неусыпин, Н.Б. Филимонов, Э.Д. Суханов, А.В. Туманов.

По направлению 5 работала секция, которой руководили К.В. Фролов, О.Н. Тушев, А.Г. Горшков, И.О. Эмри, С.В. Аринчев.

По направлению 6 работали 2 секции. Заседание секции «Проблемы экономического развития и управления деятельностью предприятий ОПК» состоялось 24 мая в ДК «Мир». Работой секции руководили: В.А. Бунак, С. Ivanov-Trotignon, В.И. Мартынов, В.С. Акопов. Секция «Инновационные процессы и социально-экономическое развитие» работала 25 мая в администрации города Реутова. Общее руководство научной работой секции осуществлял глава администрации города А.Н. Ходырев. Секция разделилась на тематические подсекции, работой которых руководили А.В. Ильичев, Л.А. Крылова, Ю.С. Козлов, В.И. Мартынов, В.С. Петровский.

По направлению 7 в зале заседаний учёного совета МГТУ им. Н.Э. Баумана 25 мая работала секция, которой руководили И.Б. Фёдоров, Е.Г. Юдин, В.В. Зеленцов, Р.П. Симоньянц.

25 мая 2004 г. в зале заседаний учёного совета МГТУ им. Н.Э. Баумана состоялось заключительное пленарное заседание. На заседании были обсуждены итоги работы секций по всем тематическим направлениям. Выступили руководители секций и оргкомитета.

Научные материалы Первой МНТК «Аэрокосмические технологии», посвящённой 90-летию академика В.Н. Челомея, опубликованы в совместном издании МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГУП «НПО машиностроения» к началу работы конференции [1]. Каждому из авторов докладов был вручён экземпляр этого издания. В настоящий сборник включены только те научные материалы, которые были предоставлены на заключительном пленарном заседании руководителями секций по итогам работы конференции, но не вошли в издание [1]. В конце сборника, в его приложении, даны краткие сведения об авторах публикуемых докладов, научных руководителях и организаторах конференции. Все сведения, приведённые в настоящих материалах, соответствуют состоянию на 25.05.2004.

1. Аэрокосмические технологии: Материалы Первой международной научно-технической конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея (РФ, Москва – Реутов, 24 – 25 мая 2004)/ Под. Ред. Симоньянца Р.П. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО машиностроения, 2004. – 430 с.: ил.

Пленарное заседание:

**НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА АКАДЕМИКА
В.Н ЧЕЛОМЕЯ**

УДК 531

Г. А. Ефремов

**ШКОЛА В.Н. ЧЕЛОМЕЯ – ЭТО ВЫСОКИЙ
НАУЧНЫЙ УРОВЕНЬ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ**

*Вступительное слово научного руководителя конференции –
Генерального конструктора, Генерального директора
ФГУП «НПО машиностроения», профессора.*

Разрешите открыть Пленарное заседание Первой международной научно-технической конференции «Аэрокосмические технологии». Её организаторами выступили НПО машиностроения, МГТУ им. Н.Э.Баумана, наукоград Реутов и Союз ученых и инженеров имени академика В.Н. Челомея. Мы определились, что научными руководителями будут: ваш покорный слуга, а так же ректор МГТУ им. Н.Э.Баумана, член-корреспондент РАН, профессор Игорь Борисович Федоров и академик Константин Васильевич Фролов – директор института машиноведения РАН.

Работа конференции будет проходить 24 и 25 мая в Реутове и в Москве по секциям. Выделено 7 основных научных направлений: Проблемы проектирования и создания аэрокосмических систем. Прикладные задачи математического моделирования. Компьютерные системы и технологии. Динамика движения и системы управления. Нелинейная механика и теория нелинейных процессов управления. Вопросы экономики и менеджмента. Новые технологии подготовки специалистов.

В работе секций будут рассматриваться актуальные вопросы научно-технической деятельности нашей ракетно-космической отрасли и вопросы гражданской тематики. Оказали поддержку конференции и принимают в ней активное участие ФГУП «ОКБ Вымпел» и Государственный Космический Научно-Производственный Центр имени М.В. Хруничева. Известно, что раньше мы с ними работали в государственном содружестве, которое называлось «Объединенное НПО машиностроения». Сегодня свои усилия мы объединяем добровольно, в том числе и на этой конференции. Это показательно. Свое сотрудничество мы намерены развивать и впредь.

Конференция наша посвящена 90-летию со дня рождения генерального конструктора, академика Владимира Николаевича Челомея. Нам хорошо известна величайшая роль и заслуга этого гениального человека в развитии отечественной и мировой ракетно-космической техники. Мы хорошо знаем,

сколь велико значение тех грандиозных достижений, которые были достигнуты творческими коллективами наших предприятий, нашими учеными и инженерами, нашими замечательными специалистами. Но я бы хотел настроить участников конференции не на славословие прошлого, а на глубокий анализ научно-технической проблематики сегодняшнего дня. Хотел бы настроить работу конференции на деловой лад. Главное, что из Прошлого сейчас сохранилось – это Школа Челомея. Это – высокий научный уровень инженерных решений. Это – высокая ответственность в наших делах. Ведь мы понимаем, что были, есть и будем в оборонном секторе нашей экономики.

Несколько слов необходимо сказать об особенностях той обстановки в которой мы проводим конференцию. Сегодня мы устраиваем смотр нашего состояния на новом этапе развития российской экономики. Ведь за 20 лет после ухода из жизни В.Н. Челомея изменилось принципиально всё, изменилось радикально – развернулось на 180 градусов. Изменились угрозы государственной безопасности. Изменились подходы государства к формированию оборонных программ. Изменились отношения между наукой и промышленностью. Мы до сих пор находимся в состоянии, когда нет внятной промышленной политики государства в отношении, прежде всего, высоких технологий. Мы наблюдаем отрыв финансовой политики государства от промышленной политики наших предприятий. Все это изменило до неузнаваемости обстановку, в которой мы сейчас находимся по сравнению с той обстановкой, в которой работали при Владимире Николаевиче Челомее. Раньше, например, никогда не было проблем с финансированием государственного оборонного заказа. Сейчас этот заказ финансируется либо недостаточно, либо со срывами сроков, либо, как ни странно, вообще не финансируется.

То, что мы находимся в сфере высоких технологий – это добровольный выбор каждого из нас, каждого из предприятий, участвующих в нашей конференции. И, несмотря на все трудности, мы должны смотреть не на Прошлое, каким бы блестящим и неповторимым оно ни было, а сосредоточиться на проблемах сегодняшнего дня и устремляться в Будущее. Пусть Прошлое таким прекрасным, таким неповторимым и остается в прошлом, в том периоде, который называется советским.

На нашей конференции представлено много актуальных докладов, в которых рассматриваются вопросы инноваций, вопросы организации работ в рыночных условиях. Особый интерес вызывают работы, отражающие корпоративные подходы в решении организационных и научно-технических проблем. А при этом возникают уже и новые проблемы – проблемы интеллектуальной собственности, проблемы авторского права. В условиях нашей реформированной оборонной отрасли к этим вопросам мы приходим невольно. Без их решения нам не выжить.

Далее я предоставляю слово для приветствий и сообщений по заявленной тематике пленарного заседания нашим уважаемым коллегам.

УДК 531.1

И.Б. Федоров

**ТВОРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АКАДЕМИКА
В.Н. ЧЕЛОМЕЯ В МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА**

*Текст выступления научного руководителя конференции –
ректора МГТУ им. Н.Э. Баумана, члена-корреспондента РАН.*

1. Профессор. Творческая деятельность академика В.Н. Челомея была неразрывно связана с МГТУ им. Н.Э. Баумана. Перед зданием нашего университета со стороны Яузы стоит бюст В.Н. Челомея. Когда Владимиру Николаевичу как дважды Герою Социалистического труда было предоставлено право выбора места для установки бюста, он не случайно выбрал именно Бауманский университет. В МГТУ им. Н.Э. Баумана (тогда еще МВТУ), в 1951 году В.Н. Челомей защитил докторскую диссертацию. В ней он исследовал крутильно-изгибные колебания авиационных двигателей. А через год по представлению ученого совета ему было присвоено звание профессора.

Говоря о В.Н. Челомее как о профессоре, следует особо подчеркнуть его особый дар педагога. Своими глубокими по содержанию и яркими по форме лекциями он буквально привораживал студентов. Да и не только студентов. Мне довелось слышать совершенно блистательные выступления Владимира Николаевича. Хорошо помню один из докладов на ученом совете о парадоксах в механике, вызываемых вибрациями. Челомей рассказывал об обнаруженных им удивительных явлениях и тут же демонстрировал опыты на маленьких лабораторных установках, которые принес с собой. Весь ученый совет, а это – 120 заведующих кафедрами и ведущих профессоров во всем спектре научных интересов, слушали его, буквально затаив дыхание [1].

Педагогическое мастерство и ораторский дар не однажды В.Н. Челомей использовал для достижения поставленных им целей. Одной из важнейших задач, которые Челомей решал в МГТУ, была задача создания эффективной и надежной системы пополнения своего предприятия квалифицированными, хорошо подготовленными инженерными кадрами. Он понимал, что никакие гениальные планы и задачи без сильного инженерного состава предприятия никогда не решить. За эту ответственную задачу он взялся сам.

2. Основатель кафедры. В 1960 году Челомей основал в МГТУ им. Н.Э.Баумана кафедру, которая ныне называется «Аэрокосмические системы». К преподаванию он привлек лучших специалистов предприятия. Со временем это помогло ему сформировать ту научно-инженерную школу, и тот высокопрофессиональный коллектив спе-

циалистов, который оказался способным решать самые трудные задачи, создавать лучшие в мире ракеты и космические корабли.

3. Ученый. Как ученый Владимир Николаевич никогда не стоял на месте. Он постоянно испытывал непреодолимую жажду творчества. Эта черта ярко проявилась еще в студенческие годы. Позже в 1956 г. будучи профессором МВТУ, он выполнил сложное фундаментальное исследование, указав на практическую возможность повышения устойчивости упругих систем с помощью высокочастотных вибраций. В 1958г В.Н. Челомеем была разработана нелинейная теория статик и динамической устойчивости гидравлических и пневматических золотниковых сервомеханизмов. Впервые была сформулирована теорема о начальных давлениях в силовых полостях сервомеханизмов.

В.Н. Челомей опубликовал ряд оригинальных работ по различным проблемам прикладной математики, устойчивости упругих систем, теории колебаний динамических систем с периодически меняющимися параметрами. Он достиг выдающихся результатов в исследованиях эжекции. Было обнаружено явление аномально высокого прироста (120 – 140%) реактивной силы, возникающее при эжектировании атмосферного воздуха пульсирующей реактивной струей. Уже после смерти Владимира Николаевича, в 1986 году, эти результаты были зарегистрированы как открытие. Членом-корреспондентом АН СССР В.Н. Челомей был избран в 1958 году, а в 1962 – действительным членом АН СССР по специальности «Механика». Научные успехи академика В.Н. Челомея были высоко оценены учеными. В 1964 году за лучшую работу по теории авиации он был удостоен Золотой медали имени Н.Е. Жуковского. В 1977 году Челомей получил высшую награду АН СССР за выдающиеся работы в области математики и механики - Золотую медаль имени А.М. Ляпунова.

4. Школа В.Н. Челомея. Ученики и последователи академика В.Н. Челомея достойно продолжают начатое им дело. В 2002 году мы проводили Всероссийскую научно-техническую конференцию «Аэрокосмические технологии», в которой приняло участие большое число молодых ученых и инженеров. Огромные успехи, достигнутые коллективом НПО машиностроения в наше нелегкое время, подтверждают: научно-инженерная школа академика В.Н. Челомея живет и развивается. В значительной мере этому способствует наша совместная подготовка инженеров на Аэрокосмическом факультете. Его студентами и выпускниками по праву гордятся и университет и предприятие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Челомей В.Н. Избранные труды / – М.: Машиностроение, 1989. – 448 с.

УДК 531.2

К.В. Фролов

МЫ В ДОЛГУ ПЕРЕД В.Н. ЧЕЛОМЕЕМ

*Текст обращения научного руководителя конференции –
академика, директора Института Машиноведения РАН.*

1. Скорость Челомея. Сегодня мы все в долгу перед Владимиром Николаевичем Челомеем и хотим не только сохранить добрую память о нем, но и сделать все, чтобы тот энтузиазм и энергия, которыми обладал этот замечательный человек, продолжали жить и помогали нам преодолевать преграды на пути к высоким целям. Конечно, его нельзя идеализировать. Нельзя сказать, что В.Н. Челомей был абсолютно во всем безупречен. Но он был выдающимся, ярким, стремительным человеком. Он двигался быстро всегда и во всем.

По фантастическим темпам работы он не знал себе равных. Но эта скорость всегда сочеталась с невероятной глубиной аналитического проникновения в сущность проблем и шокирующей смелостью изобретательских решений. Г.А. Ефремов рассказывал, что от аванпроекта первого в мире маневрирующего на орбите спутника «Полёт» в 1961 году до его запуска в 1963 прошло чуть больше двух лет. А ведь это был совершенно новый аппарат с новой системой управления, с новыми двигателями и, что самое главное, с новым чрезвычайно смелым и поразительно эффективным конструкторским решением. Этот аппарат, ставший прототипом известного истребителя спутников ИС, произвел ошеломляющее впечатление в мире и вынудил наших соперников изменить военную стратегию в космосе.

Вот что такое скорость Челомея! Но, как известно, любое движение вызывает сопротивление среды. Чем быстрее движение, тем выше сопротивление. С ростом скорости сопротивление резко возрастает, становится большим, ... становится колоссальным! Владимир Николаевич в своем стремительном движении преодолевал огромное сопротивление. И при этом всегда сохранял устойчивость, всегда проявлял поразительную настойчивость и очень достойно служил тому делу, которому посвятил свою жизнь.

2. Он крепил мощь оборонного щита. Своим неукротимым характером Владимир Николаевич часто вызывал на «ринг» многих генеральных конструкторов. Нельзя сказать, что у него при этом все было безоблачно. На самом деле все как раз не так. Но, благодаря тому, что были сильные оппоненты, что они поднимались до уровня Влади-

мира Николаевича, он получал возможность развивать самую тонкую, самую сложную область теоретических знаний и инженерного искусства. Благодаря этому и крепла мощь оборонного щита и мощь экономики той страны, которую мы с вами потеряли. Сейчас не модно говорить «оборонный щит Родины». Но именно в его создании неопределима роль Владимира Николаевича, неопределимо значение его таланта и титанического труда. Например, после того, как наш подводный флот был оснащен ракетами конструкции академика Челомея В.Н., стратеги того времени вынуждены были не просто задуматься над оборонной доктриной, но и пересмотреть ее по существу.

3. Он был Инженером и Ученым. Много можно рассказать о том, сколько сделал В.Н. Челомей для развития аэрокосмической техники. Много можно сказать и о том, сколько он дал науке для глубокого понимания принципиальных основ механики. Владимир Николаевич был Инженером. Но он был и Ученым: искал все время и все время сомневался. Он любил и хорошо знал как механику твердого тела, так и механику жидкости и газа – все разделы механики! Мне, помню, он говорил: «...Обычно все хорошо в теории, пока не столкнешься с реальной конструкцией. Вот, например, простой гидропривод. На практике все как-то не согласуется с теорией, происходят какие-то чудеса!» И он строил новую теорию, но такую, которая понятна инженеру. Да, Владимир Николаевич был ученым, но и был инженером! Математику он поднимал до уровня инженера, а инженера – до уровня математика.

4. Он учился всю жизнь. Самым удивительным, самым великим качеством человека, я считаю, стремление учиться всю жизнь. И чем больше мы познаем, тем больше понимаем, что очень много еще не знаем. Таким удивительным человеком был Владимир Николаевич. Он не стеснялся признаваться в том, что чего-то не может понять, не стеснялся учиться. На эту тему мы с ним многократно беседовали. При проведении экспериментов он стремился к тому, чтобы технические средства и методы измерения были точными. С другой стороны, он проникновенно смотрел на то, что любой эксперимент – это тоже теория. Что замерять, как замерять, насколько доверять получаемой информации? Такими мучительными вопросами Владимир Николаевич часто задавался, устремлено искал и находил на них ответы.

5. Мы намерены действовать. Я полагаю важным, что мы сегодня не просто возвращаемся к памяти Челомея В.Н., а намерены действовать. Для этого в 2001 году мы создали Союз ученых и инженеров имени академика В.Н. Челомея. Мы приложим все силы, чтобы деятельность Союза была результативной. Предстоит много дел: ведь еще не полностью мы воздали ему должное.

УДК 531.3

Г.Д. Дермичев, А.А. Медведев, Ю.Н.Труфанов

ЧЕЛОМЕЙ В ФИЛЯХ

Дается исторический анализ творческой деятельности Конструкторского бюро «Салют» ГКНПЦ имени М.В. Хруничева (Фили) в период с 1960 по 1981 год, когда оно в качестве филиала №1 предприятия ОКБ 52 («НПО машиностроения», Реутов) работало под руководством генерального конструктора В.Н. Челомея. Приводится перечень наиболее значимых разработок, во многом определивших развитие отечественной ракетно-космической техники.

1. Курс на баллистические ракеты. В октябре 1960 года перестало существовать ОКБ-23. Генеральный конструктор Мясичев В.М. был переведен на должность начальника ЦАГИ, а созданный им коллектив перешел в подчинение возглавлявшему тогда предприятие ОКБ 52 («НПО машиностроения» в Реутове) новому генеральному конструктору авиационной техники Владимиру Николаевичу Челомею. Предприятие ОКБ-23 стало именоваться филиалом № 1 ОКБ 52. Объясняется это тем, что руководство страны в тот период считало, что межконтинентальные ракеты перспективнее стратегических бомбардировщиков. Владимир Николаевич получил новое правительственное задание. Но ОКБ-52 в то время специализировалось на создании крылатых ракет. Для разработки баллистических ракет потребовалось подключить новые силы.

Выбор ОКБ-23 был не случаен, его конструкторский коллектив был молод, полон сил и обладал уже опытом создания уникальных образцов авиационной и ракетной техники. Рядом находился передовой завод, способный производить сложные конструкции, используя передовые технологии. Придя В.Н. в Фили, Челомей начал знакомиться с тематикой работ в ОКБ-23 при В.М. Мясичеве. В кабинет к нему по очереди вызывались заместители генерального конструктора и ведущие конструкторы со своими разработками. В.Н. Челомей выслушивал их доклады. Поддерживает ли он продолжение тематики или нет, по началу понять было нельзя. Впоследствии же стало ясно, что ни одна из новых разработок В.М. Мясичева поддержана не была. Были сохранены лишь подразделения, обеспечивающие эксплуатацию находящихся на вооружении самолетов «М4» и «ЗМ».

2. Разработка УР-200. Началась разработка боевой межконтинентальной ракеты 130-тонного класса УР-200. Коллектив ОКБ пере-

распределил свои силы: кто раньше разрабатывал конструкцию крыла и фюзеляжа, стали разрабатывать баки и сухие отсеки ракеты. Механики и шассисты занялись стартовым устройством. Маневрирующими в полете головными частями и спутниками-разведчиками занимался основной коллектив ОКБ-52 в Реутове. Боевые головные части разрабатывались во вновь созданных подразделениях филиала № 1.

Проектируемая тогда ракета УР-200 по сравнению с разработками других ракетных КБ имела ряд новшеств. Впервые применены высокоэффективные компоненты ракетного топлива – азотный тетроксид и несимметричный диметилгидразин. Впервые управление первой ступенью выполнялось с помощью отклонения основных маршевых двигателей. Впервые в конструкции обечаек баков была применена вафельная конструкция. Эти проектные решения оказались удачными и являлись почерком Филевского КБ в последующих разработках.

Руководителем филиала № 1 был назначен В.Н. Бугайский, обладавший прекрасными организаторскими способностями. Общее руководство работами, выбор смежников, «пробивание» различных решений в Правительстве было за В.Н. Челомеем. Такое распределение работ оказалось в первые годы работы филиала № 1 весьма плодотворным. Владимир Николаевич много сил уделял подбору смежников, нацеленных преимущественно только на его тематику. Это были Воронежское КБ Косберга С.А., КБ Кузнецова В.И. и др. Правда, не со всеми КБ удавалось договориться. Так КБ Пилюгина Н.А. «придворным» стать не захотело, хотя и активно сотрудничало в создании систем управления УР-100, УР-200 и УР-500. Такая «непокорность» вызвала впоследствии отказ В.Н. Челомея от сотрудничества с этим КБ.

Трудно вспомнить, с кем Владимир Николаевич был по-настоящему откровенен. Своих подчиненных он держал на удалении. Вот характерный пример. В начале освоения ракетной тематики В.Н. Челомей организовал поездку на полигон в Капустин Яр группы заместителей Главного и специалистов КБ. Возглавил её он сам. Никто из Филевского КБ раньше там не был. Когда самолет приземлился в пункте назначения, к трапу подъехал «ЗИМ», туда сел Челомей и, никому ничего не говоря, уехал. Правда, вскоре и за остальными приехал автобус. И ещё один штрих. Когда в начале пребывания на полигоне филевцы провели на ногах непрерывно более суток и, решив, что насмотрелись всего, стали собираться в Москву, к ним в домик, как будто прочитав их мысли, зашел Челомей. «Все, что вы успели увидеть – цветочки, а ягодки впереди» – сказал он и был прав. Месяц, проведенный на полигоне, оказался крайне полезным для дальнейшей работы.

Ракета УР-200 была освоена производством завода № 23 и выполняла ряд успешных полетов, но на вооружение принята не была.

Аналогичная ракета была разработана в КБ Янгеля М.К.. Ей и было дано предпочтение. Кроме того, к этому времени стало ясно, что в условиях упреждающего удара противника боевые ракеты с открытым стартом не имеют перспектив. На начальном этапе были прекращены работы и по более мощному варианту – УР-200Б. Однако КБ и завод № 23 получили неоценимый опыт. А прототипы I и II ступеней УР-200 составили облик II и III ступеней РН «Протон».

3. Ракта-носитель «Протон». Разработка «Протона» началась в 1962 году. Первоначально стартовая масса этой ракеты планировалась в районе 500 тонн, откуда возник и её шифр УР-500. Первые варианты УР-500 были совершенно не похожи на то, что впоследствии стало называться «Протоном». Была даже попытка связать в одно целое четыре ракеты УР-200. Окончательный облик «Протона» сейчас известен всем. При его выборе Владимир Николаевич проявил истинный демократизм. По первоначальному Постановлению Правительства УР-500 создавалась как многоцелевая ракета. В качестве полезных нагрузок рассматривались боевая головная часть, ракетоплан и космические аппараты. Но уже в процессе изготовления ракеты вышло уточняющее Постановление, предопределившее основное назначение ракеты: выведение на околоземные орбиты тяжелых космических аппаратов. Уточнение назначения УР-500 потребовало переделки III ступени и дооснащения производства Завода имени М.В. Хруничева (ЗИХ). Чтобы не терять времени, испытание УР-500 Владимир Николаевич Челомей решил начать, не ожидая изготовления III ступени – в июле 1965 года. Двухступенчатая ракета вынесла на орбиту свою первую полезную нагрузку - научный спутник «Протон».

Распределение работ по проектированию полезной нагрузки было аналогичным УР-200. КБ в Реутово разрабатывало все головные части, кроме боевых. Испытания ракеты-носителя в трехступенчатом варианте начались в марте 1967. В отличие от американских традиций по ракете «Сатурн», первые пуски «Протонов» выполнялись с реальной целевой полезной нагрузкой. Генеральный конструктор был уверен в ракете. Период разработки «Протона» отличался высокой целеустремленностью в работе инженеров Филевского КБ, испытателей и работников завода № 23.

По инициативе В.Н. Челомея ОКБ в Филях разрабатывало проекты и существенно более мощных ракет-носителей – для пилотируемой экспедиции на Луну (как альтернативу королевской ракете «Н-1»), а затем и для экспедиции на Марс. Проекты получили наименование УР-700. Отличались они оригинальностью. Все их блоки допускали транспортировку на полигон и в места проведения стендовых испытаний железнодорожным транспортом, в отличие от «Н-1», для которой

на полигоне в Байконуре и на испытательных стендах строились филиалы завода-изготовителя, что было весьма дорого и снижало качество изготовления ракеты. Идею транспортабельности активно поддерживал В.П. Глушко – генеральный конструктор двигателей 150-тонной тяги, установленных на I ступени «Протона», а также уникальных двигателей с тягой 600 тонн в одной камере для УР-700. Владимир Николаевич приглашал В.П. Глушко и к обсуждению выбора компоновочных схем УР-700.

4. Боевая баллистическая ракета УР-100. Величайшей заслугой В.Н. Челомея, коллектива Филевского КБ и завода им. М.В. Хруничева является создание в кратчайшие сроки боевой баллистической ракеты УР-100 (SS-11 по коду НАТО). В этом проекте было заложено несколько пионерских решений, обеспечивающих возможность длительного хранения ракеты в шахтных пусковых установках при высочайшей боеготовности. Над проектом плодотворно работала кооперация разработчиков. Разработкой двигателей занимались С.А. Косберг (впоследствии А.Д. Конопатов) и С.П. Изотов. Над разработкой шахтной пусковой установки трудился коллектив В.П. Бармина. К разработке системы управления был привлечен Н.А. Пилюгин.

Испытания УР-100 начались в 1965 году с открытого старта, а затем перешли к пускам из шахты. Время требовало скорейшего ввода в строй этих боевых ракет: США активно наращивали число своих межконтинентальных ракет шахтного базирования «Минитмен». Денег не жалели. В ходе ЛКИ было проведено 70 пусков ракеты.

При разработке боевых ракет семейства УР-100 и его модификаций Владимир Николаевич в полной мере продемонстрировал свои стратегические способности. Так, закладывая решения по УР-100, он предусмотрел возможность увеличения стартового веса ракеты в тех же габаритах контейнера и шахты, что позволило создать существенно более мощную ракету УР-100К практически в тех же шахтах. Но сотрудники ОКБ считали В.Н. Челомея академиком и по знанию психологии. Так в феврале 1963 он проявил эти способности при проведении в Филах выездного заседания Совета обороны с участием Н.С. Хрущева, Л.И. Брежнева, многих маршалов и министров. Во многом благодаря умелой организации этого мероприятия было получено одобрение на разработку УР-100. Создание ракеты УР-100 позволило стране обрести свой ракетно-ядерный щит. Заводом им. М.В. Хруничева в кратчайшие сроки было изготовлено несколько сотен боевых ракет.

5. Преодолевая разногласия. Работы по боевым ракетам бурно развивались, но прежняя кооперация стала распадаться. Не сошелся Владимир Николаевич во многих взглядах на перспективу развития систем управления с Н.А. Пилюгиным и появился другой Главный

конструктор систем управления боевых ракет В.Н. Челомея – В.И. Кузнецов. Именно его система управления стояла на следующей модификации УР100 – УР100К. Начались разногласия В.Н. Челомея и с В.Н. Бугайским. Это был последний период их совместной работы.

Следующая модификация, задуманная Владимиром Николаевичем, казалась малореальной – практически в тот же транспортно-пусковой контейнер, что был спроектирован для УР-100, он требовал поместить ракету вдвое большего веса. Причем диаметр ствола шахты должен быть сохранен, то есть иметь те же размеры как для УР-100 и УР-100К. Скептики предрекали неудачу. КБ Бармина также выражало серьезные опасения в реализуемости задачи. Тогда Челомей пошел на замену кооперации и по пусковой установке. Её стали разрабатывать выходцы из ОКБ-23, выделившиеся после разработки автоматизированного старта ракеты УР-200 в самостоятельное КБ «Вымпел» (как филиал № 2 ОКБ 52) под руководством В.М. Барышева. Головной блок этой ракеты разрабатывался в Реутово. Новая ракета получила наименование УР-100Н. Она успешно несет боевое дежурство и в нынешние времена. В соответствии с договорами с США о сокращении наступательных вооружений блок ускорителей ракеты УР-100Н используется в составе космической ракеты-носителя «Рокот».

6. Новое задание. В 1969 году Владимир Николаевич получил новое ответственное задание – создать орбитальную пилотируемую станцию «Алмаз» 20-ти тонного класса, оснащенную мощной фотоаппаратурой. Для периодической смены экипажа и доставки на борт станции расходующихся материалов был предусмотрен транспортный корабль снабжения (ТКС) тоже 20-ти тонного класса. Весь проект первоначально разрабатывался в Реутово, а в 1970 году Владимир Николаевич разработку ТКС передал в Фили. Работы начались с чистого листа. ТКС имел в своем составе возвращаемый аппарат (ВА) оригинальной схемы и активный стыковочный узел. ВА разрабатывали в Реутово, но изготавливали, как и саму станцию, и транспортный корабль, на заводе в Филях. Для летной отработки в Филях были разработаны космические аппараты для выведения на орбиту одновременно двух возвращаемых аппаратов. Было проведено 4 таких пусков.

Проект транспортного корабля получился интересным и на его базе Владимир Николаевич задал КБ в Филях ряд разработок специального назначения. Эти работы также были выполнены успешно, но всё осталось на бумаге. Поскольку при разработке орбитальной станции встретился ряд трудностей, сдерживались и работы по ТКС. Но завод работал. И корпус ОПС был изготовлен. Не хватало его «начинки». И вот в 1970 году, не спрашивая согласия В.Н. Челомея, в Правительстве было принято решение о создании пилотируемой долговре-

менной орбитальной станции (ДОС) на базе приборного оборудования кораблей «Союз» и с использованием корпуса станции «Алмаз». К этому заданию были подключены ЦКБЭМ (ныне РКК «Энергия») и КБ в Филах. Работы Филевского КБ возглавлял В.Н. Бугайский.

Работы по ДОС шли успешно при обоюдном стремлении двух КБ решить поставленную задачу наилучшим образом. Запуск ДОС с помощью «Протона» состоялся 19 апреля 1971 года. Орбитальная станция получила наименование «Салют-1». Работы по «Алмазу», а, следовательно, и ТКС ушли на второй план. Правда, впоследствии, по инициативе «снизу» ТКС обрел вторую жизнь в виде серии тяжелых кораблей «Космос», на которых отрабатывалось взаимодействие транспортных кораблей с орбитальными станциями «Салют 6» и «Салют 7» (в период с 1977 по 1980 год). Конструкция ТКС явилась базовой и для всех модулей орбитальной станции «Мир». Эта же конструкция использована и в составе первого модуля МКС.

7. КБ «Салют». Последним крупным заданием, которое Владимир Николаевич выдал в свой филиал, была разработка стартовой разгонной ступени крылатой ракеты, базирующейся на подводной лодке. Саму крылатую ракету и контейнер разрабатывало КБ в Реутово. Филам было предложено поместить разгонную ступень с ЖРД в оставшемся между ракетой и контейнером зазоре. Конструкция разгонной ступени получилась многоэлементной и достаточно сложной. Всё-таки, разгонная ступень была создана и проходила летные испытания.

В июне 1981 года конструкторское бюро на Филах было передано в состав НПО «Энергия», получив при этом название КБ «Салют НПО Энергия». Генеральным конструктором был назначен Д.А. Полухин. Связи с НПО Машиностроения в Реутово сохранились в части поддержания в готовности той техники, которая была создана коллективами Реутова и Филей в период их совместной работы.

8. Оценивая тот период работ по прошествии многих лет, можно констатировать, что он был весьма плодотворным, хотя и трудным и сложным по взаимным отношениям, как с другими предприятиями, так и внутри КБ. Но, как говорится, «цель оправдывает средства», а значимость достигнутых под руководством В. Н. Челомея целей неоспорима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева / Проспект предприятия – М.: ООО «Глобал-М», 1998. – 49с.

УДК 531.4

Д.К. Драгун, В.Г. Молчанов

АКАДЕМИК В.Н. ЧЕЛОМЕЙ И ОКБ «ВЫМПЕЛ»

Кратко излагается история создания и развития предприятия «ОКБ Вымпел», когда оно функционировало как Филиал № 2 фирмы, возглавляемой В.Н. Челомеем (г. Реутов). Дан аналитический обзор созданного коллективом предприятия наземного оборудования ракетно-космических комплексов.

1. Введение. 30 июня 2004 года мы отмечаем 90-летие со дня рождения выдающегося ученого и конструктора XX века, академика Владимира Николаевича Челомея, а в сентябре – 60 лет со дня основания предприятия «Научно-производственное объединение машиностроения» (НПОМ) [1]. Под руководством В.Н. Челомея ученые, конструкторы, инженеры и рабочие НПОМ и ряда других предприятий в течение 40 лет создавали уникальные образцы ракетно-космической техники, среди которых боевые ракетные комплексы, космические корабли и спутники. В.Н. Челомей и возглавляемые им коллективы – создатели морского щита Родины, разработчики современных крылатых ракет, в том числе и известных ракет «Гранит». Созданными ими межконтинентальными баллистическими ракетами типа «сотка» были переоснащены РВСН.

Под руководством В.Н. Челомея решено огромное число многообразных задач по освоению космического пространства, созданы уникальные образцы ракетно-космической техники от маневрирующих спутников типа «Полет» и космических кораблей «Алмаз» до тяжелой ракеты «Протон». Природный ум, необыкновенный талант и огромная работоспособность – вот основные качества В.Н. Челомея, которые способствовали небывалым успехам страны в развитии ракетно-космической техники и в укреплении обороноспособности.

После смерти В.Н. Челомея в 1984 году предприятие возглавил его соратник Герберт Александрович Ефремов.

2. Создание предприятия «ОКБ Вымпел». Одним из предприятий, созданных В.Н. Челомеем для решения задач наземного обеспечения ракетно-космической деятельности страны, было и предприятие, получившее впоследствии название ФГУП «ОКБ Вымпел». А тогда оно функционировало как Филиал № 2 фирмы, возглавляемой В.Н. Челомеем (ЦКБМ, позже – НПОМ). Произошло это в 1963 году. Первым руководителем предприятия был назначен сподвижник и замести-

тель В.Н. Челомея – Владимир Михайлович Барышев. Претворяя в жизнь научно-технические идеи и решения В.Н. Челомея, коллектив Филиала № 2 под руководством В.М. Барышева, вел разработки наземного оборудования всех образцов ракетно-космической техники, создаваемых В.Н. Челомеем.

Первой крупной работой для коллектива ученых, конструкторов и инженеров будущего ФГУП «ОКБ Вымпел» было создание комплекса наземного оборудования для РН 8К81 (УР 200). Комплекс обеспечивает автоматизированную подачу лежащей на самоходной тележке ракеты к установщику, стыковку пневматических, электрических и заправочных коммуникаций. В него входит также система заправки ракеты на пусковом столе, созданная совместно с ЖЗТМ (в бывшем городе Жданов, а ныне – Мариуполь).

В то же время коллектив участвовал в создании испытательной базы и полигонного испытательного комплекса на космодроме Байконур как для РН 8К81, так и для следующей ракеты В.Н. Челомея – 8К82 (УР 500). Ракета 8К81 была заменена ракетой 11К69. В связи с этим стартовый комплекс был перепроектирован КБТМ и перестроен. Филиал № 2 ЦКБМ принял участие в создании РН 8К82 с первых дней разработки новой ракеты.

Для стартового комплекса РН 8К82 предприятием были созданы так называемые «наземные бортовые системы» – система дежурного наддува, система термостатирования и система прокачки рулевых машин. Разработаны и изготовлены системы, обеспечивающие подготовку стартовых устройств. Все они успешно работали, а их модификации работают на стартовом комплексе до сих пор, обеспечивая пуски РН 8К82К с различными космическими аппаратами.

Предприятие является головным по техническому комплексу РН 8К82К, где эксплуатируется различное оборудование, созданное коллективом предприятия и смежниками. Оборудование для технического и стартового комплексов, созданное ФГУП «ОКБ Вымпел», и модификации этого оборудования более 30 лет успешно участвуют в подготовке и пуске РН 8К82, а затем – 8К82К.

3. Первые проекты коллектив предприятия начал осуществлять в 1962 году для комплексов ИС и УС разработки В.Н. Челомея. Работы велись в кооперации с рядом предприятий. Среди них такие как «Горизонт», завод «Прожектор», Савёловский завод «Прогресс» и другие. С того времени было создано много уникальных образцов наземного оборудования по сборке ракет-носителей и по их испытаниям. Созданы стенды для обеспечения комплексных и автономных проверок работы систем наведения и навигации, солнечных батарей и энергетиче-

ской станции, стендов сборки аппаратов, взвешивания и центрирования, проведения юстировочных работ, транспортное и пневмовакуумное оборудование, системы обеспечения температурно-влажностного режима и другое оборудование.

В 1975-1985 годы предприятие работало над созданием технических комплексов для космических станций «Алмаз», «Салют», Мир», для космических аппаратов систем связи, телевидения и навигации и для других объектов. Все они были разработаны под руководством генеральных конструкторов Челомея В.Н., Бабакина Г.Н., Решетнева М.Ф., Ковтуненко В.М., Полухина Д.А., Ефремова Г.А.. Предприятие также участвовало в создании монтажно-испытательного корпуса 92А-50 на космодроме Байконур.

В процессе работы использовались новые подходы к созданию технических комплексов. В результате были разработаны и находятся в эксплуатации: 1. Единая система газоснабжения всех сооружений технической позиции; вакуумный центр и унифицированное оборудование по обеспечению проверок на герметичность всех КА. 2. Унифицированный ряд транспортно-заправочных агрегатов, обеспечивающих транспортировку внутри полигона КА, РБ и КГЧ. 3. Холодильный центр, обеспечивающий тепловые режимы при подготовке КА. 4. Унифицированное грузоподъемное оборудование и средства обслуживания КА. 5. Оборудование, обеспечивающее испытания КА с раскрытием внешних приборов и антенн. 6. Стенды для автономных испытаний солнечных батарей. 7. Оборудование взвешивания и определения фактического центра масс космических аппаратов от 4 до 25 т.

4. Транспортно-пусковой контейнер. В конструкторском бюро В.Н. Челомея в 60-х годах осуществлялась разработка одного из первых ракетных комплексов второго поколения РС-10 с легкой ампулизированной ракетой 8К84. Эта ракета, называемая «соткой», размещалась в транспортно-пусковом контейнере. Для предприятия она была важным этапом в его становлении как головного предприятия, создающего ракетную технику.

Основной задачей на первом этапе было конструкторское обеспечение решения В.Н. Челомея по созданию ракетного оружия по принципу «завод – пусковая установка». Выполнение данной задачи во многом определялось созданием транспортно-пускового контейнера. Была предложена и реализована конструкция контейнера, изготовленного из прессованных панелей и профилей из алюминиевого сплава.

Аналогичные конструкции были впервые освоены и применены Мясищевым В.М. на самолетах ЗМ, М4, М50. Здесь впервые были применены направляющие, изготовленные также из алюминиевых прессованных профилей. Это позволило резко сократить вес и трудо-

емкость, привело к снижению стоимости. Но самое главное – это привело к повышению научно-технического уровня контейнера, его технологичности и серийности. Позволило в кратчайшие сроки изготовить, испытать и поставить на боевое дежурство нужное количество ракет, обеспечить их высокую надежность. Разработка документации, организация кооперации по изготовлению – все это было выполнено в кратчайшие сроки, было произведено несколько десятков пусков на космодроме Байконур и, уже в августе 1967, первый полк ракетных шахтных пусковых установок поставлен на боевое дежурство.

Одновременно с разработкой транспортно-пускового контейнера предприятием была разработана система бескрановой перегрузки контейнера с транспортных средств и погрузка его обратно на транспортные средства. Это позволило снизить стоимость боевых комплексов за счет исключения из их состава дорогостоящих подъемных кранов. А также позволило проводить погрузочно-разгрузочные работы при скорости ветра до 12-15 м/сек, тогда, как крановая перегрузка могла производиться при скорости ветра не более 5-7 м/сек. Повысилась надежность комплексов за счет исключения возможности выхода из строя перегружаемых изделий из-за соударения их с окружающими конструкциями при порывах ветра.

5. Шахтные пусковые установки. Если первую шахту проектировал и создавал коллектив специалистов под руководством В.П. Бармина, то, начиная со следующей модификации, шахтные пусковые установки создавались Филиалом № 2 ЦКБМ. В это время проводились работы по повышению технических характеристик установок с ракетой. В 1969 году Филиал № 2 ОКБ 52 выиграл конкурс на проект системы амортизации модификаций «сотки» и создал оригинальную двухопорную систему пневмогидравлической амортизации. Созданию системы амортизации предшествовала длительная проектная, опытно-конструкторская, исследовательская и экспериментальная работа. Система не имеет аналогов в мире и защищена более, чем 50 авторскими свидетельствами и патентами.

Впервые была создана система дежурного контроля (СДК) за параметрами ПУ. При создании первого БРК учеными и конструкторами предприятия решены многочисленные проблемные задачи. Одна из них – ампулизация заправочных магистралей и постоянный контроль давления в баках ампулизированного изделия. Была разработана ПГС контейнера. Для дальнейших модификаций изделий разработаны системы предстартовой подготовки, агрегат осушки контейнера, решены задачи защиты топливных полостей изделия от попадания загрязнений извне, решены задачи слива компонентов из баков изделия, потерявших герметичность и удаления остатков компонентов из маги-

стралей контейнера после использования изделия, а также решены задачи по нейтрализации контейнера. Кроме того, предприятие на всех этапах создания БРК курировало вопросы заправки, слива и нейтрализации изделий. По ТЗ предприятия КБТХМ разработало унифицированные средства заправки, которые обеспечили заправку и слив всех последующих модификаций изделий.

Для этих комплексов коллективом предприятия также были созданы системы амортизации прицеливания, решены проблемы обеспечения температурно-влажностного режима, проработаны и решены задачи по защите от факторов ядерного оружия и решен ряд других вопросов. Большая часть этих установок, с учетом проведенных модернизаций, до настоящего времени обеспечивают безопасность нашей Родины. Во главе этой работы находился В.М. Барышев. Расчетно-теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение произведено коллективом специалистов во главе с Ю.С. Храповицким.

6. Решение сложных научно-инженерных задач. Создание нового транспортно-пускового контейнера с габаритами, соизмеримыми с ракетой, потребовали решения сложных научно-инженерных задач. С целью обеспечения безаварийного старта ракеты в условиях высоких газодинамических и тепловых нагрузок произведена отработка тепловой защиты конструкции транспортно-пускового контейнера. Задачи эти были успешно решены теоретическим отделом ОКБ с участием институтов ВИАМ и ЦНИИМАШ. Были созданы модельные установки и проведен большой объем экспериментов, результаты которых легли в основу конструкции. Был разработан новый высокоэффективный теплозащитный материал, защищенный авторским свидетельством. Успешные пуски ракеты на полигоне подтвердили правильность принятых научных решений.

Одновременно проводились работы по улучшению агрегатов всего наземного оборудования комплексов, по их совершенствованию, повышению качества и долговечности. С 1973 на предприятии проводились работы по созданию (доработке) комплектующих изделий повышенной надежности и долговечности. За это время было разработано (доработано) более 250 видов комплектующих изделий разработки предприятий Минприбора, Минмаша и Миноборонпрома.

В период с 1970 по 1974 гг. были разработаны первые ракетные комплексы повышенной защищенности. Их особенность заключается в следующем. Пусковые установки, отличающиеся по степени защиты и создавая для различных по размерам и характеристикам ракет, были унифицированы в части конструктивно-компоновочных решений, размеров и состава оборудования. Была также сохранена отработанная и проверенная на космодроме Байконур газодинамическая эжекторная

схема старта, несмотря на различия в тяговооруженности этих ракет.

В последствии на полигонах нашим предприятием проводились опытные работы и экспериментальные исследования, направленные на совершенствование и модернизацию стартовых комплексов.

В конце 70-х годов академик В.Н. Челомей поручил Филиалу № 2 ЦКБМ разработку КНО для КР морского и авиационного базирования. Нашим предприятием были созданы комплексы наземного оборудования для КР «Гранит» и ряда других. Для обеспечения натуральных совместных испытаний были развернуты технические позиции в городах Севастополь, Капустин Яр, Северодвинск, Североморск. Для отработки КР предприятием были созданы стационарные технические позиции.

В 1984 году предприятию поручено переоборудование пусковых установок ракет СС-19 под новую твердотопливную ракету СС-24 разработки академика В.Ф. Уткина. Коллектив конструкторов успешно справляется с поставленной задачей. На основе имеющихся разработок предприятие создает новую, опорную систему амортизации, обеспечивающую защиту ракеты от внешних факторов и ее безопасный старт.

7. Дальнейшее воплощение идей. Заложенные В.Н. Челомеем и В.М. Барышевым идеи и решения, в последние годы нашли дальнейшее воплощение. Они были реализованы при создании пусковой установки ракеты «Тополь-М», при создании технических позиций для различного вида космических кораблей и спутников, в том числе и в интересах иностранных заказчиков. Они нашли применение и в различных разработках для народного хозяйства Москвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение машиностроения». 60 лет самоотверженного труда во имя мира / Составители: Ефремов Г.А. и др. – М.: Изд. Дом «Оружие и технологии», 2004. – 332с.

УДК 353.2

Ю.С. Козлов

СОХРАНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И АКТИВНАЯ ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ – ГЛАВНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ РЕУТОВА – НАУКОГРАДА РФ

Выступление заместителя главы администрации г. Реутова – наукограда Российской Федерации

Уважаемые участники конференции! Разрешите от имени главы города Реутова, Александра Николаевича Ходырева, поздравить с началом работы конференции и пожелать успехов. 2004 год – особый год в судьбе нашего города Реутова: первый год реализации Программы развития города, как наукограда Российской Федерации. В этой программе две основные задачи. Первая – сохранение и развитие научно-технического потенциала, накопленного в научно-технической сфере города, основу которого составляет НПО машиностроения. Вторая задача – создание условий для активной инновационной деятельности во всех сферах. Это – и активная инновационная деятельность в приоритетных направлениях науки и техники, и активная инновационная деятельность во всех социальных сферах жизни города.

Второй важный момент этого года заключается в том, что на территории города по поручению Президента России В.В. Путина реализуется отработка механизма создания элементов национальной инновационной системы. Борис Всеволодович Громов принял поручение и реализует этот пилотный проект. Учитывая эти два момента, администрация города организует работу секции «Инновационные процессы и социально-экономическое развитие». На этой секции, которая пройдет завтра в администрации города, будут рассмотрены доклады по фундаментальным исследованиям в области социально-экономического развития. Будут так же рассмотрены конкретные примеры инновационных проектов как НПО машиностроения, так и малых предприятий города. Возможно, что в этом году они будут реализовываться в рамках программы развития города как наукограда РФ.

Программа работы нашей конференции очень насыщена. Но если вы найдете время, проявите интерес и решите присутствовать на нашей секции, мы будем рады вас там видеть.

Ещё раз – успехов в труде и в работе нашей конференции!

Г.А.Ефремов

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО
на первом пленарном заседании МНТК-2004

Перед тем, как перейдём к секционной работе, скажу несколько слов. Прежде всего, ещё раз подчеркну, как за эти 25 лет у нас всё изменилось. Хотя в НПО машиностроения и сохранились направления работ, но та конкретная тематика, которая закладывалась ещё В.Н. Челомеем, вся уже завершилась в 2002 году. Мы сдали на вооружение последнюю работу той тематики – «Оникс». Но жизнь продолжается. Наши коллеги из бывших филиалов сегодня вспоминали: кому и что досталось после того, как каждый стал самостоятельным предприятием. Кому-то достался кормящий «Протон» и модули на основе станции «Алмаз». Кому-то достались шахты для «Тополей-М». Но продолжает жить и находится на боевом дежурстве техника, которая была создана более 20 лет назад. Мы вынуждены сейчас развивать такую науку, которой и названия нет: «техническая геронтология», если можно эти слова так сочетать. Действительно, на боевом дежурстве находится УР-100Н УТТХ, один из основных комплексов наших стратегических ракет. И они на боевом дежурстве 29-ый год! Хотя закладывались на десять лет их жизни.

Мне кажется крайне важным, чтобы мы не только смотрели в прошлое, но и были нацелены на наше будущее и на наше сложнейшее настоящее. Чтобы могли найти те пути, которые ведут к успеху. Мне кажется, что все предприятия, которые входят в куст руководимых В.Н. Челомеем предприятий, успешны и у них есть хорошие перспективы в той самой конкуренции, которую нам приходится выдерживать на внутреннем и международном рынке.

Конечно, никому раньше, 20 лет назад, и в голову не могло прийти, что мы, оборонщики, будем работать с зарубежьем. Но, как видите, даже флажки здесь отражают основные наши международные связи: это Индия, ..., Франция. В эту гирлянду, учитывая деятельность Центра М.В.Хруничева, можно было бы и американский флаг поставить. Я понимаю, что это – веление времени. Но, тем не менее, мы очень ограничены. То, что происходит на конференции, в секциях, носит открытый характер на основе полученных разрешений для открытых выступлений, для открытых публикаций. И то, что мы здесь, в Деловом комплексе «Мир», говорит об открытости заседаний. Все секции открыты. Мы это должны обязательно учитывать.

Много есть работ, где участвует наша творческая молодежь. Их творчество начинается, буквально разгорается, с первых дней студен-

чества, во время учебы на Аэрокосмическом факультете. Я думаю, что это надо только приветствовать. И смотр, который будет произведен здесь, в секциях, будет очень серьезным. Он будет подчеркивать, что мы остались в высоких технологиях, как бы трудно нам не приходилось.

Я хотел бы заранее поблагодарить всех участников, представителей всех организаций. Мы здесь собрались все, как бы жидкостники, хотя у нас и твёрдотопливные крылатые ракеты были и есть. Участие МИТ крайне важно. Это Московский институт теплотехники, с которым мы, вроде, конкурируем. На самом деле мы разведены по разным уровням решаемых задач. И, тем не менее, тоже выступаем в содружестве. Мы, головники, озабочены не только конкуренцией между собой, не только получением выгодных оборонных заказов, но ещё и сохранением нашей кооперации. Эта кооперация пятизвенная. Она опускается от головников на пять этажей ниже. И мы крайне озабочены состоянием любого из участников наших работ. У нас и у МИТа сейчас выделено по заместителю генерального директора, и мы будем вместе вырабатывать позиции в отношении наших многочисленных смежников. Думаю, что в дальнейшем к нам подключатся и другие головные организации. Подключится Центр М.В.Хруничева, подключатся самолётчики, работники судостроительной промышленности, в общем, те самые головники, которых не так уж и много. Надеемся, что и материаловеды, и металлурги, и те, кто обеспечивает нас радиоэлектронными элементами, все мы будем в общем строю.

К сожалению, сейчас уже не видно руководящей роли оперативного управления наших административных органов. Как известно, только Федеральное космическое агентство выделено в особую категорию под Председателем Правительства. Вся остальная промышленность сейчас в глубинах министерства Виктора Борисовича Христенко. Это, конечно, заставляет о собственных проблемах думать, прежде всего, самим и самым вплотную ими заниматься. Мне кажется, что мы в работе конференции наметим те пути и те проблемы, которые наверняка будем решать буквально ближайшие год-два. Необходимо нацелить нашу работу на следующую конференцию. Не только на выступления, но и на работу, на рождаемые в работе темы, на решаемые вопросы, задачи. Вот с этими напутствиями я бы хотел обратиться к вам, дорогие товарищи, все участники нашей Первой международной научно-технической конференции.

Спасибо всем за участие в работе. Успеха, здоровья, бодрости и уверенности в нашей победе!

ОБЗОР ДОКЛАДОВ ПЕРВОЙ МНТК-2004

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Итоги работы трёх секций этого научного направления, которые работали под общим научным руководством *Г.А. Ефремова*, на заключительном пленарном заседании подвёл *В.В. Витер*. Владимир Васильевич отметил, что по характеру и содержанию докладов на секциях был охвачен весь спектр вопросов, связанных с созданием аэрокосмических систем. Рассматривались проблемы разработки ракет и космических аппаратов, разработки их узлов, агрегатов и отдельных элементов. Несколько докладов не состоялось, но ряд интересных работ были доложены дополнительно к программе. Высокая оценка дана работам студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАКЕТ

Ю.А. Цуриков, В.Д. Володин, С.Г. Соломаха, Н.М. Лотарёв, А.В. Смирнова. Исследование возможностей расширения функциональных характеристик российских ракет-носителей за счет использования отечественных серийных твёрдотопливных ускорителей. – Результаты исследований, выполненных в ГКНПЦ им. М.В. Хруничева группой специалистов доложил на заседании секции Ю.А. Цуриков. Им было представлено два доклада. В первом докладе изложены результаты исследования расширения функциональных характеристик российских ракет-носителей за счет использования отечественных серийных твёрдотопливных ускорителей. Рассмотрен комплекс вопросов возможного расширения функциональных характеристик ракет-носителей «Протон» и унифицированного семейства «Ангара» за счет использования серийных твёрдотопливных ускорителей на основе снятых с вооружения трёх ступеней МБР «Тополь». Показано, что создаваемая при этом дополнительная энергетика обеспечивает решение ряда новых задач.

Ю.А. Цуриков, С.Е. Пугаченко, А.А. Горбань. Преемственность конструкции и использование блочно-модульного принципа построения РКТ при формировании инфраструктуры полётов к Луне. – В докладе рассмотрены возможные формы унификации, преемственности и блочно-модульного строения изделий РКТ применительно к перспективной задаче создания пилотируемой инфраструктуры полета к Луне. В качестве базовых элементов используются модули и транспортные корабли орбитальных станций «Салют», «Мир» и МКС, разгонные блоки «Бриз», агрегатно-двигательные отсеки и бортовые системы, созданные в ГКНПЦ им. М.В.Хруничева. При этом учитываются требования по обеспечению необходимых сроков службы, запасов расходуемых компонентов, требования к системе обеспечения жизнедеятельности экипажа, требования по энергетическим характеристикам и микрометеоритной защите.

Д.В. Морозов. К вопросу оценки лучистых тепловых потоков от струй маршевых двигателей в донной области многосопловых компоновок космических ракет. – В докладе специалистов ГКНПЦ им. М.В. Хруничева были доложены результаты интересных работ на основе данных лётного эксперимента. Проблема обусловлена сложной крестообразной компоновкой хвостового отсека пятиблочной ракеты-носителя Ангара-А5. Значительная часть элементов конструкции хвостового отсека подвергается интенсивному воздействию лучистых тепловых потоков от пяти струй маршевых двигателей первой ступени ракеты. Определение суммарной величины этого потока – актуальная проблема, которую не решить путем лабораторных исследований или на основе данных по тепловым нагрузкам на ракетах-носителях с кольцевой компоновкой двигателей. Проблема эта рассмотрена в рамках оценочных расчетов, которые сравнивались с результатами летных измерений на космических ракетах Зенит и Рокот. В докладе описан метод расчета лучистых тепловых потоков, представлены результаты обработки телеметрических данных по замерам тепловых потоков в донной области ракеты Рокот и распределение лучистого теплового потока в донной области.

И.С. Партола. Результаты проектирования и отработки капиллярных заборных устройств торового топливного бака РБ «Бриз-М». – Проблема актуальна и заключается в том, что существующие каркасные конструкции имеют капиллярные сетки плоской структуры. Но плоская структура и производственные дефекты приводят к утрате работоспособности этих устройств после прорыва газа. К тому же, плоская структура сетки существенно затрудняет работу заборных устройств в условиях вибрации. В докладе было представлено разрабо-

танное капиллярное заборное устройство. Оно представляет собой кольцевой коллектор, выполненный из комбинированного пористого сетчатого металла по бескаркасной схеме. Материал этот создан в НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Устройство обеспечивает разделение жидкой и газовой фазы в конце опорожнения топливного бака, когда вход трубопровода подачи топлива оказывается выше уровня жидкости. Обеспечивается наиболее полная выработка топлива при отклонениях вектора тяги маршевого двигателя от продольной оси изделия. При этом исключается попадание газовой фазы в трубопровод в условиях длительной невесомости.

И.И. Ибраева. Разработка метода расчета коэффициента теплообмена и среднеквадратичных отклонений его величины. – В последние годы возросла актуальность задачи увеличения веса полезной нагрузки, выводимой ракетносителями «Протон» и «Рокот». Требуется минимизировать вес конструкции. Одно из существенных слагаемых веса – вес теплозащиты на элементах конструкции головных частей и баках. Для исследования этого фактора необходим уточнённый метод анализа и расчета параметров теплообмена на поверхности ракеты при выведении. Метод расчета разработан автором доклада, специалистом ГКНПЦ им. М.В.Хруничева.

И.И. Ибраева, А.С. Кудинов. Результаты исследований газодинамических параметров в зонах отрыва набегающего потока на поверхности корпуса ракеты. – Для решения отмеченной выше проблемы необходимо иметь чёткую картину газодинамических процессов обтекания сложной поверхности ракеты. Наибольшие трудности при этом вызывают области взаимодействия набегающего потока с боковыми блоками первой ступени и с переходными отсеками между первой и второй ступенью ракет типа «Протон». В докладе специалистов Центра им. М.В. Хруничева представлены результаты исследований газодинамических параметров в зонах отрыва набегающего потока на поверхности корпуса ракеты перед такими элементами конструкции, как выемки и преграды различных конфигураций. На основе наземного и лётного экспериментов построена картина течения в зоне отрыва по траектории полёта до разделения ступеней. Эти зоны были оснащены датчиками давления, температуры среды и калориметрами. Анализ показаний датчиков позволил построить картину течения и определить газодинамические параметры в области отрыва с учётом нарастающего по траектории пограничного слоя и перехода турбулентного режима течения в ламинарный. Для предварительного определения газодинамических параметров в этой области проводились экспериментальные исследования на аэродинамических установках Центра М.В. Келдыша.

С.А. Белавский, С.В. Антоненко. Исследование метода подхвата в воздухе парашютирующих объектов к спасению отработавших ускорителей ракет космического назначения. – На заседании обсуждалась новая концепция многоразовости ракет-носителей, а также новые технические решения, представленные специалистами ГКНПЦ им. М.В. Хруничева. Доложены интересные результаты исследования применимости метода подхвата в воздухе парашютирующих объектов к спасению отработавших ускорителей. В докладе рассмотрена также возможность создания на базе универсального ракетного модуля первой ступени семейства РН «Ангара» многоразовых ускорителей, спасаемых методом вертолетного подхвата. В материалах доклада приведены сведения, подтверждающие техническую реализуемость и экономическую эффективность предложенной технологии возвращения и повторного использования.

В.П. Георгиевский, А.А. Севастьянов. Исследование схем установки дополнительных твердотопливных ускорителей с ограниченными прочностными характеристиками на ракетах космического назначения. – Как показано авторами первого доклада (*Ю.А. Цуриков, В.Д. Володин и др.*), для увеличения веса полезной нагрузки, выводимой на геостационарную орбиту, актуальна практическая задача установки на используемые в настоящее время ракеты космического назначения дополнительных твердотопливных ускорителей. При этом возникает задача разработки узлов крепления ускорителей к ракете. Результаты решения этой задачи были доложены специалистами ФГУП «Московский институт теплотехники». В представленной работе рассмотрено несколько вариантов схем закрепления. Наилучший вариант выбран исходя из условий обеспечения заданных геометрических размеров и удовлетворения требованиям прочности используемых ускорителей и узлов крепления. Для выбранного варианта, использующего силовой адаптер, производится оптимизация массово-жесткостных характеристик адаптера и упругого шарнира.

Ю Сун Чул (Корея) и Ю.И. Попов. Оценка весовой эффективности применения композиционных материалов в конструкции ЛА. – В конструкциях ЛА для снижения массы все чаще применяют композиционные материалы. В связи с этим в настоящее время актуален вопрос оценки весовой эффективности их применения. Этому вопросу был посвящён доклад корейского специалиста, выполнившего работу в техническом университете МАИ.

Atul D. Rane (Индия) и В.М. Киселёв. О совместной работе специалистов НПО машиностроения и Индии. – В докладе говорилось о создании совместного предприятия для производства высокоэффек-

тивных ракетных технологий. Авторы подчёркивают, что благодаря взаимной заинтересованности удалось в самые короткие сроки достигнуть значительных практических результатов.

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КЛА

А.Г. Виноградов, А.М. Елисеев. Ситуационное моделирование в проектировании и создании аэрокосмических систем. – В докладе представлена актуальная работа специалистов НПО. На заключительном пленарном заседании В.В Витер дал ей высокую оценку. Это – мощная информационная система, которая позволяет глубоко анализировать основные характеристики систем ещё на ранних стадиях проектирования. А на более поздних стадиях она даёт возможность производить более обоснованный выбор параметров систем. Примером использования ситуационного моделирования при разработке аэрокосмических систем может служить созданный в ФГУП «НПО машиностроения» Центр ситуационного моделирования. Специалистами предприятия был создан многофункциональный информационно-моделирующий комплекс «Компас», программной основой которого являются технические средства Центра.

Практическая реализация данного проекта позволит сократить временные и финансовые затраты на проектирование и создание аэрокосмических систем, включая полигонные испытания. При этом повысится качество проведения маркетинговых и презентационных мероприятий. Появится возможность оценивать уровень конкурентоспособности разрабатываемых изделий военного и гражданского назначения. Комплекс позволит изучать эффективность применения боевых систем в условиях военных действий.

Б.И. Кушнер, С.М. Беднов, И.А. Кочнев. Разработка и внедрение расчётно-экспериментальной методики отработки тепловых режимов негерметичных КА с системой СОТР на основе тепловых труб. – Один из глубоких профессиональных докладов по разработке отдельных систем космических аппаратов представил результаты по совместной работе специалистов НПО машиностроения и Исследовательского Центра имени М.В. Келдыша. Предлагаемая авторами методика обеспечивает проведение наземной экспериментальной отработки в орбитальном полете с высокой степенью точности и с минимальными затратами. Сущность методики состоит в следующем. Проводятся тепловакуумные испытания отдельных типовых фрагментов КА и связанных между собой в тепловом отношении сборок типовых фрагментов с горизонтально расположенными тепловыми трубами. На базе полу-

ченных фактических параметров передачи тепловой энергии создается тепловая математическая модель в виде программы для ПК. Она определяет тепловые связи между всеми элементами КА и температуру посадочных поверхностей приборных панелей.

Е.Г. Ларин. Состояние работ в области космического двигателестроения. – В глубоком докладе главного конструктора НИИ Машиностроения (г. Нижняя Салда) изложены основные результаты НИОКР этого института по созданию реактивных двигателей малой тяги (РДМТ) и двигательных установок (ДУ) на их основе для современных и перспективных космических аппаратов. Одним из существенных отличий разработанных двигателей по отношению к аналогам было значительное снижение массы. Эти преимущества были достигнуты благодаря использованию ряда особенностей их конструкции. Например, для подачи компонентов топлива в смесительную головку в двигателях были применены электромагнитные клапаны с «мягким» уплотнением «фторопласт по металлу».

Выполненный в работе анализ современного состояния элементной базы двигательных систем дал основание утверждать, что имеющийся научно-технический задел позволяет при своевременном формировании заказов обеспечить оснащение современных и перспективных КА двигательными установками с характеристиками, соответствующими современному уровню требований.

М.Ю. Ромейков, Р.С. Чурсин, А.В. Воеводин, А.Н. Богатов, С.В. Гайдукевич, М.Ю. Захарова, М.К. Баздарев, Р.П. Симоньянц, Е.И. Журавлёв, В.Ф. Матвеев, Л.Н. Тарарин. Конструкция и динамика малого космического аппарата. – Студентами Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана при НПО машиностроения с участием преподавателей университета и специалистов предприятия был спроектирован малый космический аппарат. Его особенности: Оригинальная компоновочная схема без традиционных для российских спутников тяжелых герметичных отсеков. Современная технология изготовления отсеков и панелей (трёхслойные сотовые панели). Ярко выраженная модульность конструкции спутников. Оптимальная технология изготовления, сборки и испытаний. Надёжная и эффективная, обладающая небольшой массой, пассивная система терморегулирования с тепловыми трубами, создающая оптимальные условия для отвода тепла. Широкое применение клееных конструкций. Система управления ориентацией предусматривает использование одноосных маховиков, гравитационных штанг и магнитных катушек.

В.А. Федоров, В.В. Кирсанова. Величина электрического потенциала ИСЗ. – Электрический потенциал имеет принципиальное значе-

ние при проведении научных экспериментов на борту ИСЗ. Величину потенциала в докладе находят из условия равенства нулю плотности тока электронов и ионов плазмы в каждой точке поверхности спутника. Полагают, что движение происходит по круговой орбите $h = 200 \dots 1000$ км, в F -слое ионосферы. В этом слое главным фактором является тепловая температура электронов плазмы. Поэтому величину потенциала ищут из условия равенства нулю плотности тока электронов и ионов плазмы в каждой точке поверхности ИСЗ.

В.В. Витер, анализируя представленные доклады, на заключительном пленарном заседании особо отметил доклад студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана и специалистов ФГУП «НПО машиностроения» по созданию малых космических аппаратов. Подчёркнуто, что были продемонстрированы некоторые нетрадиционные подходы и к конструированию, и к подбору технических средств, и к организации проектных работ. Это – пионерские работы, сказал В.В. Витер.

Студенты представили оригинальные конструкции пиромеханизмов. Это – пиротолкатели. Хорошая конструкция с высокими показателями. По меньшей мере, одну из предлагаемых конструкций мы нигде не видели, сказал В.В. Витер. В другом докладе был представлен оригинальный привод компактного высокоманёвренного манипулятора, который по воле оператора может выполнять различные операции. То, что это сделано студентами похвально и интересно. Ещё один студенческий доклад касался мало изученного вопроса определения величины электрического потенциала ИСЗ. Этот вопрос играет принципиальную роль при проведении на борту научных экспериментов. В целом, если отметить лучший студенческий доклад по секции «Аэрокосмические системы и КЛА», сказал В.В. Витер, то следует назвать студенческий проект малого космического аппарата. Он заслуживает высокой оценки за смелость и за качество.

СТАРТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ. СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ

Заседание секции под председательством *Д.К. Драгуна* проходило 25.05.2004 в конференц-зале ФГУП «ОКБ Вымпел». Итоги работы секции подвёл *В.И. Нефёдов*. Он выразил удовлетворение глубоко содержательными докладами.

В.С.Абакумов, Д.К. Драгун, А.В.Жарков, А.И. Забегаев. Практика научно-методического сопровождения работ по переоборудованию шахтных пусковых установок в комплексе «Тополь-М» с использованием ресурсосберегающих технологий. – Работа выполнена специалистами ОКБ Вымпел совместно с учёными МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ресурсосберегающие технологии позволили значительно снизить стоимость и сократить сроки проведения работ. Повторное использование высоконапряжённых металлоконструкций аппаратурного отсека и системы амортизации предполагает тщательный анализ действующих на эти конструкции нагрузок. Для их анализа необходимо иметь развитый математический аппарат динамических расчетов. Он позволит решать практические задачи с необходимой степенью детализации и выявлять резервы несущей способности конструкций. Отмечено, что ФГУП «ОКБ Вымпел» совместно с научной школой МГТУ им. Н.Э.Баумана обеспечили на высоком уровне научно-методическое сопровождение работ при проектировании, испытаниях и внедрении стартового комплекса «Тополь-М» на всех этапах.

В.С.Абакумов, Д.К. Драгун, А.И. Забегаев, В.И.Нефедов, Н.В Люкевич. Применение научно-методического аппарата расчёта сквозных динамических задач ракетно-космической техники к анализу динамики системы «поезд – путь» в монорельсовой транспортной системе с повышенной скоростью движения. – Второй совместный доклад специалистов ФГУП «ОКБ Вымпел» и МГТУ им. Н.Э. Баумана. Подчёркивается, что при создании этой транспортной системы возникает ряд динамических задач, не уступающих по сложности самым современным задачам динамики старта ракет. Для выполнения динамических расчетов системы амортизации созданы расчетные модели, которые учитывают взаимодействие упругого пути на опорах и движущегося относительно него поезда. В качестве основы принята сквозная динамическая модель старта ракеты из шахтной пусковой установки в условиях действия интенсивных поперечных сил. В ней рассматривается движение упругого фрагмента математической модели (ракеты) с обеспечением нелинейно-упругого взаимодействия с другим подвиж-

ным упругим фрагментом (контейнером), который в свою очередь связан нелинейно-упругими связями с пусковой установкой (основанием).

Применение аппарата расчета сквозных динамических задач ракетно-космической техники позволило в короткие сроки и с малыми затратами создать математические модели движения состава вагонов монорельсовой транспортной системы с повышенной скоростью движения. Это дало возможность выбрать основные характеристики для формирования технического облика системы амортизации и сформировать требования к жесткости пути.

А.В. Грицаенко, А.И. Забегаев, В.В. Захаров, Б.В. Пшенинов. Создание стенда для натурной отработки систем амортизации с высоким уровнем потенциальных сил. – Доклад представили специалисты ФГУП «ОКБ Вымпел» и ФГУП «Московский институт теплотехники». Стенд обеспечит испытания систем амортизации транспортно-пускового контейнера на работоспособность и точность восстановления в исходное положение после динамических воздействий. Разработаны конечно-элементные модели контейнера оболочечного типа. Расчетные схемы ориентированы на получение параметров относительных перемещений элементов конструкции в условиях номинальной работы и динамического воздействия. Полученные результаты позволяют выполнить сравнительный анализ различных вариантов расчетных схем и оценить параметры движения системы в эксплуатационных режимах.

А.В. Жарков. Доложены результаты проектирования системы амортизации ракеты в транспортно-пусковом контейнере, размещаемом в пусковой установке на морском носителе. Методика учитывает специфику конструктивного исполнения и функционирования морских ракетных комплексов.

Л.А. Лаврова, Б.Н. Осипов, И. Прокопенко. Применение компьютерных технологий при модернизации системы термостатирования стартового комплекса «Протон». – В целях сокращения сроков и обеспечения современного технического уровня системы использовались отработанные и серийно изготавливаемые узлы: персональные компьютеры, контроллеры, датчики давления, расхода и температур. Выполнение данной работы позволило существенно сократить период изготовления и затраты времени на пусконаладочные работы и заводские испытания. При этом обеспечивался глубокий контроль и высокое качество работ.

В.А. Изрицкий, В.М. Пучков, В.В. Чугунков. Методика моделирования температурного режима объектов ракетно-космической техники при проведении транспортно-перегрузочных операций и в период под-

готовки к пуску. – Для решения задач прогнозирования температурного состояния элементов ракетно-космических систем в МГТУ им. Н.Э. Баумана была создана методика и реализующие ее программные комплексы. Для оценки погрешности исходных данных в предложенной методике введен автоматизированный учет влияния случайно распределенных теплофизических свойств материалов, размеров конструкций и эмпирических коэффициентов.

А.В. Кочетков. Пенетраторы для исследования поверхностных слоёв грунта планет и их прочностные характеристики. – Автор доклада, специалист ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, представил доклад о разработке пенетраторов, с помощью которых производят исследования поверхностных слоёв грунта планет. Одна из основных проблем, возникающих при разработке пенетраторов – обеспечение их прочности. Расчет прочностных характеристик является сложной задачей, для решения которой требуется большое число исходных данных. Предложена приближенная методика предварительных расчетов.

Заседание президиума Союза учёных и инженеров имени академика В.Н. Челомея под председательством директора Союза В.Н. Талызина состоялось непосредственно после окончания работы секции «Стартовые комплексы. Системы амортизации». В члены Союза была принята группа работников «ОКБ Вымпел». Е.В. Талызина (Челомей) вручила им удостоверения и нагрудные знаки членов Союза. Затем состоялось награждение памятными медалями Федерации космонавтики России. Награды вручил В.И. Нефёдов.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Об итогах работы трёх секций этого научного направления на заключительном пленарном заседании доложили их руководители О.Н. Тушев, Ю.И. Димитриенко и В.С. Зарубин.

ДИНАМИКА УПРУГИХ КОНСТРУКЦИЙ

В работе секции активное участие приняли преподаватели кафедры «Аэрокосмические системы», основанной в 1960 г. академиком В.Н. Челомеем. Для предприятия ФГУП «НПО машиностроения» кафедра готовит специалистов на Аэрокосмическом факультете МГТУ им. Н.Э. Баумана при этом предприятии.

О.В. Кузнецов. Качественный анализ распределения волн в цилиндрической оболочке, скреплённой с упругим цилиндром из низкомодульного материала. — В представленной работе построена картина волн, распространяющихся вдоль продольной оси бесконечно длинной оболочки. Показано, что решение задачи существует в областях, ограниченных асимптотическими кривыми, которые не входят в область решения. Прикладное значение полученных результатов заключается в установлении автором факта: наличие упругого цилиндра из низкомодульного материала существенно ограничивает частотный диапазон вибраций, пропускаемых рассматриваемой системой.

Ю.И. Ключев. Прочность, устойчивость, колебания ферменных отсеков, жестко связанных с твёрдым телом. — Автор отказался от традиционного подхода, когда расчетную модель переходного отсека представляют в виде фермы, шарнирно прикрепленной к твердому телу в сечениях соединения со шпангоутами. В предложенном методе уточнение расчета достигается введением следующих условий: отсек рассматривается как упругая рама (в узлах не шарнирное, а жёсткое соединение); учитывается пространственная деформация стержней и шпангоутов; стержни и шпангоуты рассматриваются с учетом поперечного сдвига; исследуется динамическое поведение конструкции при стационарных и нестационарных нагрузках. Соотношения для конечных элементов получены на основе фундаментальных решений систем дифференциальных уравнений. Теоретические положения доклада убедительно подтверждены результатами численных расчетов.

Ю.И. Виноградов, Ю.А. Гусев. Математическое моделирование механики деформирования гладких и подкреплённых цилиндрических оболочек при локальном воздействии. — Решению актуальных вопросов математического моделирования задач динамики и прочности тонкостенных элементов конструкций посвящён доклад по работе, выполненной под руководством Ю.И. Виноградова. Известно, что при расчете тонкостенных элементов конструкций часто возникают проблемы, связанные с необходимостью исследовать напряженно-деформированное состояние в зонах локальных нагрузок, закреплений, концентрации напряжений. Применение метода конечного элемента с традиционной полиномиальной аппроксимацией перемещений, как правило, является неэффективным, поскольку сопряжено с использованием большого числа конечных элементов. При этом значительно растут погрешности вычислений, время счета, ужесточаются требования к ресурсам ЭВМ. В связи с этим большой интерес представляют предлагаемый авторами доклада численно-аналитический подход к решению рассматриваемой проблемы. В частности, напряженно-деформированное состояние при локальных воздействиях исследовалось мультипликативным методом. Локальные воздействия прикладываются по площадкам, ограниченным окружностями и эллипсами, оси которых совпадают с линиями главных кривизн оболочек, что представляет особый интерес в прикладных задачах.

Ю.И. Виноградов, Ю.А. Гусев, В.С. Золотухин. В докладе представлено решение вопроса о приведении краевых задач теории оболочек к задачам с начальными условиями.

С.Н. Дмитриев, А.П. Гонтюк. Расчет вынужденных колебаний при использовании сокращенных динамических моделей. — Сокращенные динамические модели упругих конструкций широко используются при расчете сложных динамических систем. Получаются они применением метода синтеза форм колебаний к полной конечно-элементной модели. Точность расчетов при исследовании собственных колебаний с использованием сокращенных динамических моделей достаточно подробно изучена в МГТУ им. Н.Э. Баумана С.Н. Дмитриевым. Однако, при использовании таких моделей для расчета вынужденных колебаний возникает ряд проблем. Этим обусловлен тот интерес к докладу, в котором эти проблемы обсуждаются. В докладе рассмотрены два стандартных варианта метода синтеза форм колебаний: метод жестких границ и метод свободных границ в форме метода остаточных податливостей. Показано, что в области тонов колебаний, сохраненных в сокращенной модели, амплитудно-частотные характеристики близки к

характеристикам полной модели. А в области отброшенных частот – отличаются, в целом соответствуя статическому воздействию.

А.В. Беляев. Параметрический анализа неконсервативной динамической системы. – Упруго-массовые модели, используемые для оценки динамической устойчивости проектируемых летательных аппаратов, насчитывают несколько сотен параметров, величины которых могут изменяться в полёте. Степень влияния их вариаций в окрестности номинальных значений на динамические характеристики ЛА не всегда очевидна. Этим обусловлена актуальность задачи параметрического анализа такой модели. Результаты решения задачи были представлены в докладе. Дан анализ влияния неконсервативного нагружения на зависимость собственных частот колебаний от параметров упруго-массовой модели. В ряде случаев вид зависимости существенно отличается от характерного вида для консервативных систем. При этом состояние динамической системы близко к неустойчивому. Приведены условия применения указанной методики для решения неконсервативной задачи многопараметрического анализа частот колебаний упруго-массовой модели летательного аппарата.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ

На заседании секции были широко представлены научные работы, выполненные под руководством *Ю.И. Димитриенко* аспирантами, выпускниками и студентами кафедры «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. В числе соавторов докладов – сотрудники ФГУП «НПО машиностроения», для которого кафедра ведет подготовку студентов на Аэрокосмическом факультете при этом предприятии.

Ю.И. Димитриенко, А.В. Власкин, Ю.В. Беленовская, А.Ю. Дзаяния. Высокопроизводительное численное моделирование динамических процессов взаимодействия ударников и композитных мишеней. – Исследования динамических процессов высокоскоростного ударно-волнового взаимодействия твёрдых тел играют важную роль в технических приложениях, например при проектировании новых видов ударников и противоударных защитных систем (броня, противометеоритные экраны космической техники). В докладе представлены некоторые результаты исследований, проведенных в этой области на кафедре. Разработана математическая модель поведения материалов мишени и ударника при динамическом воздействии, а также высокопроизводительные численные методы расчета процесса соударения.

Ю.И. Димитриенко, М.А. Воронцова, Е.А. Страхова. Численное моделирование процессов детонации и кумуляции в перспективных кумулятивных системах. – С точки зрения математического моделирования процессы образования кумулятивных струй в кумулятивных системах представляют собой чрезвычайно трудную задачу. Большинство существующих в настоящее время численных методов, моделирующих процессы кумуляции, содержат значительные погрешности либо в постановочной части, либо в вычислительной части. В работе предложена новая математическая постановка задачи развития процессов кумуляции, использующая строгое лагранжево описание и новые определяющие соотношения при больших пластических деформациях. В качестве численного метода решения задачи был выбран модифицированный метод Мак-Кормака. Разработанный метод расчета позволяет проводить имитационное моделирование процессов кумуляции в перспективных кумулятивных системах, достаточно точно воспроизводя основные физические явления.

Ю.И. Димитриенко, С.Н. Ануфриев, С.Г. Изотова. Разработка технологии параллельных вычислений для решения нестационарных трехмерных задач газовой динамики в соплах РДТТ. – Технологии па-

раллельных вычислений всё больше привлекают внимание разработчиков численных методов и инженерных программных продуктов. Но переход на параллельные технологии сопряжён с решением задачи поиска оптимального алгоритма распараллеливания, обеспечивающего повышение эффективности вычислений. В связи с этим вызывает интерес представленная в докладе работа. Для численного решения задачи была разработана специальная модификация двухшаговой схемы Мак-Кормака, которая рассматривалась на пространственной геометрически адаптивной сетке. Для распараллеливания алгоритма решения конечно-разностных уравнений была использована система параллельного программирования MPI с передачей сообщений. В результате параллельная программа была разбита на подзадачи, которые решались по одному алгоритму, то есть процессы выполняли сходные операции одной и той же программы, но с разными данными (модель распараллеливания по данным). На основе разработанного алгоритма распараллеливания был разработан программный продукт для решения нестационарной задачи газовой динамики.

Ю.И. Димитриенко, А.П. Соколов, А.И. Каишкар. Разработка конечно-элементного метода расчета эффективных характеристик композиционных материалов на многопроцессорных вычислительных системах. – Важнейшим этапом проектирования новых материалов с заданными свойствами является расчет эффективных характеристик (тензоры модулей упругости, теплопроводности, теплового расширения и прочие). Задача эта становится всё более актуальной в связи с расширением области применения композиционных материалов с разнообразными структурами армирования и наноматериалов с их сложной пространственной структурой внутреннего строения.

Был разработан модифицированный метод асимптотического осреднения, сводящий задачу на «ячейке периодичности» к задаче классического типа, для которой может быть применен метод конечных элементов. В частности, рассматривалась задача определения эффективных характеристик композиционных материалов с пространственной 3-D ортогональной схемой армирования. Разработан параллельный алгоритм, позволяющий осуществить одновременный расчет задачи на нескольких компьютерах, объединенных в локальную сеть. Возможна работа на кластерной системе (суперкомпьютер с распределенной памятью), что позволяет увеличить производительность.

Ю.И. Димитриенко, А.А. Веретенников и А.С. Корепанов. Технология распределенных вычислений для решения трехмерных задач механики деформируемых твердых сред. – Численное решение задач механики деформируемых твердых тел (МДТТ) на основе метода ко-

нечных элементов (МКЭ) применительно к реальным инженерным системам требует, как правило, наличия мощных вычислительных систем. Созданная авторами вычислительная система позволяет работать с очень большими массивами данных и с высокой производительностью. Она даёт возможность многократного решения задачи, например при реализации итерационных процедур. Система содержит алгоритмы и соответствующее программное обеспечение для решения этих задач на многопроцессорных системах. Вычисления проводились на кластере МГТУ им. Баумана. В качестве одного из приложений разработанной технологии была решена трехмерная задача МДТТ по определению напряженно-деформированного состояния твердотопливного заряда, сложной пространственной формы, при температурно-силовом воздействии.

Г.А. Щеглов. Исследование переходных процессов при выходе гладких упруго закреплённых тел в плоскопараллельный поток жидкости. – Доклад на секцию представлен кафедрой «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Рассмотрена актуальная задача численного моделирования динамики старта двухсредного летательного аппарата. При переходе границы раздела сред возникает сложная картина течения с интенсивным вихреобразованием. Процесс вихреобразования имеет нестационарный характер и на гладкой обтекаемой поверхности упруго деформируемого аппарата заранее невозможно указать точки схода вихревой пелены. Для определения гидродинамических нагрузок использован метод дискретных вихрей и гипотеза Чорина. Представлено большое количество результатов компьютерных экспериментов.

Б.Г. Попов, А.Н. Жуков. – Рассмотрен прием получения уравнений динамики (в перемещениях) свободных незакрепленных дискретных систем, нагруженных внешними силами при допущении малых скоростей вращения. В случае отсутствия внешнего закрепления возникают трудности при поиске решения уравнения движения из-за невозможности обращения сингулярных матриц жесткости. Для преодоления этой трудности используется дополнительное условие, допускающее, что все упругие перемещения в любой момент времени не изменяют положения центра масс системы. Применением принципа Д'Аламбера и принципа возможных перемещений, получены системы уравнений, описывающих движения как жесткой, так и упругой части системы. Показано, что, используя принятое допущение, можно исключить степени свободы жесткого тела и получить искомое уравнение движения дискретной системы, описывающее напряженно-деформированное состояние конструкции при упругих движениях.

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

На заседании секции, работавшей под руководством *В.С. Зарубина*, рассмотрены и обсуждены доклады по работам, выполненным в МГТУ им. Н.Э. Баумана (кафедра «Прикладная математика» и кафедра «Вычислительная математика и математическая физика»), в Московском авиационном институте (технический университет) и на предприятии ФГУП «НПО машиностроения». Один из авторов – специалист из Вьетнама.

И.В. Станкевич и Ле Шонг Тунг. Определение напряженно-деформированного состояния конструкции методом локальных вариаций. – Работа связана с изучением поведения конструкционных материалов в условиях совместных тепловых и механических воздействий. Для оценивания напряженно-деформированного состояния выбран численный метод математического моделирования. Применение численных методов к решению задач термоупругости требует дальнейшего совершенствования алгоритмов их эффективной реализации. Этому вопросу и посвящена представленная работа. Для численной реализации поставленной задачи авторы применили метод локальных вариаций, который является аналогом метода покоординатного спуска. Он применён к задаче определения напряженно-деформированного состояния длинного цилиндра, находящегося под действием внутреннего давления и температуры. Такая задача относится к классу одномерных задач термоупругости. Выбран минимизируемый функционал и алгоритм решения задачи. Представлены результаты численных решений для конкретных примеров.

А.В. Котович и Г.А. Несененко. Исследование нерегулярных нелинейных температурных полей в обтекаемом теле при помощи «геометро-оптического» асимптотического метода. – Исследование нестационарных температурных полей, возникающих в обтекаемом теле, часто сопряжено с решением полулинейного уравнения теплопроводности с нелинейным источником степенного типа. В докладе изложен математически обоснованный алгоритм построения приближенного аналитического решения уравнения, учитывающий произвольные начальные условия и соответствующие граничные условия. Предложенным методом может быть получена асимптотика Пуанкаре решений нерегулярных нелинейных задач теплопроводности в областях с произвольными подвижными криволинейными границами.

В докладе проведен аналитико-численный параметрический анализ влияния структуры начального распределения температуры на развитие во времени нелинейного нерегулярного температурного поля.

Приведены графики, иллюстрирующие проведенный анализ в случае двумерного температурного поля. Проведено сравнение полученных результатов с аналогичными результатами других авторов и выявлено их качественное совпадение.

С.А. Колесник, Е.Л. Кузнецова, В.Ф. Формалёв. Численное моделирование многомерных задач теплопроводности в составных анизотропных телах. — В докладе по работе разработан экономичный, абсолютно устойчивый метод переменных направлений с экстраполяцией. Для конвективно-кондуктивного теплообмена на границах тела получены многочисленные результаты по температурным полям в составных анизотропных телах. Установлен факт разрыва продольных составляющих вектора плотности теплового потока на границах разрыва теплофизических характеристик и непрерывности нормальных составляющих. Удалось значительно увеличить продольную составляющую вектора теплового потока и снизить нормальную составляющую. Это позволяет только за счёт варьирования характеристик тензора теплопроводности существенно снизить тепловые потоки к затуплённым носовым частям летательных аппаратов.

А.В. Троицкий. Применение полуаналитических методов анализа чувствительности к прикладным задачам оптимального проектирования. — Показана перспективность применения данной методики для быстрого получения качественных решений. Рассмотрена серия задач оптимального проектирования балочных рамных конструкций с ограничениями по прочности, жёсткости и устойчивости. Результаты подтверждают правильность теоретических оценок и имеют практическое значение. Отмечается, что современный подход, получивший название топологической оптимизации, позволяет разработать общую структуру сложной распределённой механической системы без конструкторской параметризации. Например, удалось спроектировать целый ряд плоских и осесимметричных конструкций, без каких-либо начальных предположений об ожидаемой форме оптимизируемой конструкции. Полуаналитический анализ на чувствительность податливости позволил произвести эффективный расчёт градиента и для повышения качества оптимальных решений использовать густую расчётную сетку.

И.К. Краснов, А.А. Николаев. Вычислительная диагностика дефектов типа трещины магнитным методом и прогнозированию их дальнейшего развития. — Разработаны и исследованы математические модели технического диагностирования и прогнозирования. Объектом исследования является дефект типа трещины, находящийся в элементе тонкостенной оболочки. Для диагностирования дефекта построена математическая модель, разделяющая задачу диагностики на прямую за-

дачу и обратную. Целью прямой задачи является выявление диагностических признаков. Цель обратной задачи – определение наличия дефекта по эмпирическим данным, используя полученные в прямой задаче признаки. Обнаружение дефекта есть установление факта его наличия. Поиск дефекта заключается в определении с требуемой точностью его местоположения. Интерес представляет определение свойств дефекта.

Диагностика осуществляется магнитным методом. За основу взята модель магнитного дефектоскопа, снимающего с ферромагнитной оболочки поле магнитной индукции. Для решения этой модели использован сеточный метод переменных направлений (продольно-поперечная схема). При решении обратной задачи используются зашумленные данные, полученные в прямой задаче. Зашумлением считаются погрешности измерений индукционных датчиков. После обработки информации по построенному диагностическому признаку определяется наличие трещины в оболочке. Затем рассматривается задача дальнейшего развития трещины. Для её решения применяется МКЭ. При этом используется квадратичный конечный элемент с 8 узлами. Для области дефекта построен генератор сетки со сгущением вокруг вершины трещины. После нахождения напряжений вокруг вершины определяются коэффициенты интенсивности напряжений. По ним далее находятся возможные углы развития трещины.

И.В. Елизаветин, Р.И. Шувалов. Оптимизация процесса корреляции радиолокационных изображений при создании цифровой модели рельефа земной поверхности стереометрическим методом. – Рассматриваются проблемы, возникающие в процессе обработки радиолокационной информации, поступающей с борта искусственного спутника Земли. Обсуждаются возможные пути их решения. Приводится описание корреляционного алгоритма. Предлагаются возможности его оптимизации и автоматизации. На основе анализа некоторых особенностей в работе коррелятора предложена схема обработки, повышающая достоверность полученных результатов и степень автоматизации процесса корреляции. Проведен практический эксперимент с реальными радиолокационными данными, подтверждающий сделанные в докладе выводы.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Итоги работы секций этого научного направления подвели их руководители В.В. Сюзев и В.В. Савельев. На заседаниях секций были обсуждены результаты исследований, выполненных в МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГУП «НПО машиностроения», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, ФГУП «ОКБ Вымпел», МИЭМ (технический университет). В работе секций наряду с крупными учёными, известными специалистами в области информационных технологий, на высоком уровне приняли участие молодые специалисты, аспиранты и студенты.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИЛОЖЕНИЯХ

И.В. Солодовников. Разработка приложений для исследования методов обработки данных и принятия решений. – Автором предложен подход, в основе которого лежит использование совокупности мастеров для описания механизмов вывода и базы данных, в которой накапливается информация о принимаемых решениях и их характеристиках. Применяются деревья решений, использующие как логику предикатов первого, так и более высоких порядков. Это дает возможность, как простого описания задач с точки зрения пользователя, так и осуществлять логический вывод на базе внешних и внутренних источников данных по отношению к приложению. Вывод на основе БД приложения направлен на исследование методов принятия решений, выявления их характеристик и может служить для обоснования их применимости при работе с внешними источниками данных.

И.В. Солодовников, А.Ф. Зародов. Организация имитационного эксперимента в структуре систем автоматизированного проектирования. – Доклад посвящен решению проблемы совершенствования методов и функциональных средств имитационного моделирования. Исследуются возможности построения интеллектуальных систем имитационного моделирования с использованием средств и методов систем искусственного интеллекта. Изучаются возможности отображения знаний экспертов (пользователей системы имитации) в структурное и функциональное наполнение модели в соответствии с выбранной предметной областью и требованиями эксперта к качеству модели. Рассмотренный в работе подход позволяет организовать имитационный эксперимент с учетом возможных конфликтных ситуаций и нейтрализовать возможные задержки работы программы управляющей ходом имитационного эксперимента.

А.Н. Нестеренко. Разработка метода снижения нагрузки в многопользовательской системе. – Представлено решение задачи сокращения объёма информационного потока, передаваемого между клиентом и сервером. При этом предусмотрен ряд ограничений на проектируемую систему. С учётом специфики работы системы была выбрана структура с использованием неспециализированных средств. В целях понижения объёма используемого трафика выбран способ с использованием группового связывания. Для предотвращения дублирования передач и повышения скорости передачи больших порций данных была спроектирована подсистема уведомления об изменениях. Показана целесообразность использования статической таблицы с правилами для распределённого расположения. С учётом экономичности и простоты реализации был выбран постоянный единый сервер. Рассмотрены два варианта решения: блок обработки запросов клиентов в центральной зоне сети расположить; распределённое расположение серверов. Для расчёта системы была выбрана трёхуровневая модель с подсистемой массового обслуживания на каждом уровне. Подсчёт средних характеристик системы показал, что наиболее удобна для длительной работы система с распределённой структурой. В то время как производительность системы с компактной структурой даёт больший эффект в начале периода эксплуатации.

В.И. Солодовников. Проектирование нейросетевых структур интеллектуального анализа данных с использованием деревьев решений. – Системы обработки информации, способные не просто складировать данные, но и позволяющие осуществлять их анализ и обработку, находить закономерности и выдавать результат в доступном человеку виде приобретают все большую актуальность. Этому вопросу посвящена представленная на секции работа. В качестве инструментария для автоматизированного проектирования искусственных нейронных сетей были разработаны модифицированные деревья решений, позволяющие использовать логику предикатов первого порядка. Построение деревьев решения осуществляется на основе правил, характеризующих объекты предметной области. Использование модифицированных деревьев решений в качестве инструментария подсистемы принятия решений основано на разработанных алгоритмах прямого и обратного вывода, а также формирования правил. Создание, модификация и анализ нейронной сети осуществляется в режиме взаимодействия с базой данных, а испытания сети осуществляются в результате эксперимента.

В.А. Овчинников и П.А. Хабаров. Содержательно-формальное описание алгоритмов решения задач структурного синтеза на графах. – В докладе представлен поисковый вариант содержательно-

формального описания алгоритмов на графах. Сделана попытка упорядочить представление алгоритмов, описывающих решение задач структурного синтеза на графах, а также дополнительную сопровождающую информацию, которая во многих случаях остается за рамками описания процесса. Предполагается, что алгоритмы должны описываться в терминах и символах теории графов, теории множеств и математической логики на некотором специализированном языке. Синтаксис и семантика языка находятся в стадии разработки. Предложенное содержательно-формальное описание алгоритмов на графах, по мнению авторов, должно облегчить процесс разработки и анализа алгоритма.

В.В. Тимофеев и П.П. Кукса. Построение и идентификация нечетких систем в приложениях управления и системного моделирования. – Отмечено, что построение адаптивных систем на базе нечетких контроллеров и нейросетевой технологии является перспективным направлением развития теории управления. При этом актуальную задачу представляет решение проблемы обучения, как структурного, так и параметрического. Рассматривается задача приобретения знаний на основе информации типа «вход-выход» о свойствах объекта управления в рамках нечетко-множественной модели представления знаний. Предлагается процедура построения набора нечетких правил и определения оптимальных параметров нечетких регуляторов. Предложенные методы проиллюстрированы на модельных примерах.

М. А. Бакулина. Средства автоматизации решения задач структурного синтеза. – Задачи структурного синтеза требуют большого количества ресурсов вычислительной системы (времени и памяти). В докладе обсуждается архитектура универсальной системы разработки алгоритмов, включающей в себя специализированный текстовый редактор, генератор классов структур данных по их описанию, транслятор с языка формального описания, анализатор сложности, набор библиотек шаблонов описаний классов и ряд дополнительных рабочих модулей, а также назначение каждого компонента системы в отдельности. В результате создана универсальная система, которая позволяет существенно упростить разработку и анализ задач структурного синтеза, предоставляя разработчику алгоритмов возможность реализации, оценки и исследования отдельных методов и алгоритмов с учетом затрат памяти и времени, расходуемых при их выполнении.

Л.С. Точиллов. Интеграция системы «Фобос» в бизнес-процессы предприятия. – Проблема внедрения информационных технологий в бизнес-процессы предприятия рассмотрена на типовом примере разрабатываемой ФГУП «НПО машиностроения» интегрированной сис-

темы управления предприятием (ИСУП). Она предоставляет ряд ИС для поддержки конструкторской разработки. Рассмотрено одно из возможных решений задачи интеграции системы оперативного управления производством «Фобос» в бизнес-процессы предприятия и вопрос взаимодействия ее с ИСУП. Анализ показал, что система «Фобос» вполне способна решать ключевые вопросы организации сквозного процесса прохождения электронной информации в производство, дополняя ИСУП. Решение задачи интеграции стало возрождать разработанные ранее на предприятии автоматизированные рабочие места АРМ-технолога и АРМ-диспетчера, там, где пока не внедрена система «Фобос».

Ж.А. Барабаш. Опыт внедрения системы «Фобос» на уровне цеха. – При внедрении информационных технологий на предприятиях и в цехах необходимо учитывать дифференциацию и распределенность знаний. Во время жизненного цикла изделие проходит большое количество служб и отделов. Многим из требований удовлетворяет сетевая система «Фобос». Основа её – информационная открытость. Она адаптирована к работе с графическими файлами, позволяет просматривать чертежи без их редактирования. При эксплуатации системы создается банк данных, что позволяет экономить время технологам, нормировщикам и др. Источник первичных данных – конструкторская спецификация. Система позволяет создавать базы данных инструмента и материала. Она содержит средства для организации АРМ-комплектовщика. Но главное её предназначение – создание диаграммы Ганта для лучшего использования основных фондов. При серийном производстве, где используются типовые, отработанные техпроцессы, возможно уменьшение числа технологов и нормировщиков.

А.А. Домосканов. Оценка используемых вычислительных ресурсов по модели программы. – Цель работы – создание модели унифицированного описания компонентов программных систем для оценки эффективности использования вычислительных ресурсов (время, память). Дается определение оценки количества информации, необходимой для описания программ с точки зрения использования вычислительных ресурсов. Демонстрируется возможность описания основных конструкций программ. Модель программы представляет собой отображение на множестве значений оценки количества информации. Описываемая модель позволяет получить такие представления алгоритмов, структур данных, а также других компонентов вычислительной системы, которые обеспечивают возможность автоматического получения оценок вычислительной и ёмкостной сложности программ без их непосредственного выполнения на ЭВМ.

Ю.М. Руденко и Е.В. Шмаков. Алгоритм нахождения полных множеств взаимно независимых операторов. – Проблема решения задач на многопроцессорных вычислительных системах связана с проблемой автоматического распараллеливания программ и алгоритмов. При этом одной из главных задач является нахождение плана выполнения данного набора алгоритмов за минимальное время на процессорах данной ВС. Её можно свести к нахождению множеств операторов, которые могут выполняться параллельно, где под операторами понимаются, в общем случае, подпрограммы. Множество операторов, которые при определённых условиях могут выполняться параллельно, носит название полного множества взаимно независимых операторов (ВНО). Рассматривается рекурсивный алгоритм нахождения всех полных множеств ВНО, который значительно превосходит аналогичные алгоритмы по быстродействию. Сущность этого алгоритма в том, что для определения полных множеств ВНО он использует не прямой перебор операторов, а существующие связи между ними. Предусматривается возможность определения максимального полного множества ВНО, что может быть полезно при оценке сверху количества процессоров, необходимых для решения той или иной задачи.

Ю.М. Руденко, П.В. Мельдианов, Т.В. Захаровская. Введение двухместных операций преобразования матриц следования для параллельных вычислений. – В докладе рассмотрен способ преобразования матрицы следования в матрицу следования с учетом транзитивных связей. Этому вопросу уделяется достаточно большое внимание в теории параллельных вычислений, так как данная матрица позволяет исключить большое количество поисковых операций в матрице следования или графе. В работе представлены две двухместные операции над элементами матрицы следования, используя которые можно осуществить рассматриваемое преобразование. Так же представлен алгоритм, позволяющий его реализовать.

ОБРАБОТКА ПОЛЁТНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Руководитель секции, В.В. Савельев, в итоговом выступлении отметил, что информационные технологии являются ключевым инструментом разработки интеллектуальных СУ.– Многие из докладов были связаны с технологией распознавания изображений, которая постепенно становится одним из важнейших инструментов разработки интеллектуальных систем управления летательных аппаратов. Этой проблеме было посвящено большинство представленных докладов. Они включали как теоретические вопросы, так и примеры конкретной практической реализации этой технологии.

Докладчиками на секции выступали как опытные специалисты НПО машиностроения, так и работающие на предприятии молодые выпускники, и старшекурсники Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э.Баумана. Было весьма приятно убедиться в отличной подготовке выпускников Аэрокосмического факультета, отметил В.В. Савельев, за что благодарим профессорско-преподавательский состав МГТУ им. Н.Э. Баумана. Работа секции прошла при полной аудитории и на хорошем организационном и научно-техническом уровне.

А.М. Башарин. Сбор, обработка и отображение полетной информации при пуске изделий ГКНПЦ имени М.В. Хруничева.– Рассматриваются вопросы сбора, обработки и отображения полетной информации. К полетной информации относятся: телеметрическая, поступающая с борта изделия, баллистическая, по внешнетраекторным измерениям с активным ответом, а также с использованием радиолокационных и оптических средств системы контроля космического пространства. Решена задача сбора информации путем обмена с телеметрическими и баллистическими центрами по выделенным телефонным линиям, а также с использованием сети «Телекомсвязь» предприятия «Хруничев Телеком». С учетом априорной информации по результатам обработки формируется совокупный вектор состояния изделия. Он включает в себя параметры, характеризующие движение центра масс, движение вокруг центра масс, событийные характеристики и наиболее важные телеметрируемые параметры. Сбор, обработка и отображение полетной информации реализованы на программно-аппаратном комплексе в Центре обработки и отображения полетной информации (ЦООПИ) предприятия «Хруничев Телеком» по изделиям РН «Протон-К», «Протон-М», «Рокот», РБ «Бриз-М», «Бриз-КМ».

С.Ю. Иванов. Синхронизация программных подсистем и реальных объектов при натурном и полунатурном моделировании. – Пред-

лагается подход, при котором некоторой концептуальной модели ставится в соответствие имитационная модель системы. При дальнейшей детализации разрабатываемой системы детализируется и имитационная модель. При полунатурном моделировании виртуальные объекты представляют собой некоторые информационные описания, которые дополняются некоторыми реальными физическими объектами. Если все виртуальные объекты будут заменены физическими, то получится стенд натурного моделирования. Информационная часть такого стенда сосредоточена в системе управления. Этот подход был использован при создании стенда промышленного роботизированного участка. Часть системы представлялась реальными объектами, часть виртуальными. Имитационная модель позволяла отслеживать состояния всех объектов и системы в целом. Наиболее сложной проблемой здесь оказалась синхронизация работы виртуальных объектов в модельном времени и работы реальных объектов в реальном времени в рамках одной имитационной модели. Для синхронизации процессов был разработан специальный алгоритм, который был включен в модуль управления моделированием системы. Эксперименты подтвердили работоспособность такой системы.

В.В.Савельев. Теоретические аспекты распознавания изображений местности, получаемых в различных спектральных диапазонах. – Проблема распознавания объектов местности с использованием эталонных изображений включает целый ряд взаимоувязанных задач, вытекающих из общих принципов ее решения. В решении проблемы в целом, выделяются ключевые задачи: 1. Экспериментальное и теоретическое изучение статистических свойств шумов наблюдения и построение математической модели наблюдения. 2. Разработка оптимального алгоритма МП и близких к нему субоптимальных алгоритмов. 3. Построение методов аналитической оценки качества работы конкурирующих алгоритмов. 4. Определение требований к яркостно-геометрическим характеристикам реперных объектов.

Упрощенно, принцип построения многоспектральной системы распознавания (МССР) сводится к тому, что её РЛ канал решает задачу всепогодного обнаружения, а оптический и тепловизионный каналы обеспечивают весьма высокую точность локализации объекта на изображениях. Подчеркнем, что методика совместной обработки «разноканальной» информации по критерию среднего риска пока не разработана. В такой новой постановке задачу распознавания предстоит решить нашему подрастающему поколению исследователей. Применение разработанного матричного аппарата оценки информативности позволило количественно определить требования к яркостно-геометри-

ческим характеристикам реперных объектов с учетом параметров наблюдения и типа алгоритма распознавания.

Из российских предприятий только ФГУП «НПО машиностроения» располагает уникальным и полным для решения задач создания многоспектральных систем распознавания сочетанием всех необходимых для этого средств. Все это свидетельствует о том, что предприятие обладает научно-техническим потенциалом мирового уровня для решения задач построения замкнутого цикла создания МССР, обеспеченных собственными средствами наблюдения Земли.

А.Г. Трофимов, О.С. Дмитриева, В.В. Савельев, А.И. Бурганский, М.В. Большаков, Л.М. Жебрак, С.Г. Милюченко. Качественная оценка методов распознавания при работе с изображениями, получаемыми в различных спектральных диапазонах. – Рассматривается актуальная задача экспериментальной качественной оценки методов распознавания, построенных на различных принципах, при их применении на изображениях, полученных в различных спектральных диапазонах. Эта задача является ключевой при разработке комплекса алгоритмов многоспектральной системы распознавания (МССР). Её решение позволит добиться следующих результатов: - Подбор наилучшего алгоритма распознавания для каждого из каналов получения изображений или принятие решения о комплексировании нескольких алгоритмов для некоторых из каналов и определение параметров комплексирования. – Разработка методов комплексирования алгоритмов при совместной обработке изображений, полученных в различных спектрах.

Предлагаемый подход к решению задачи основан на исследовании свойств оценочных функций зонного, контурно-разностного и контурно-гистограммного алгоритмов. Анализ оценочных функций позволяет определить поведение алгоритмов распознавания при динамической эволюции наблюдаемого изображения, самого объекта и смене спектра наблюдения. Приведены примеры оценочных функций, построенных на изображениях, полученных в ходе испытаний прототипа МССР разработки НПО машиностроения.

О.С. Дмитриева, А.Г. Трофимов, В.В. Савельев, А.И. Бурганский, М.В. Большаков, Л.М. Жебрак, С.Г. Милюченко. Сравнительный анализ свойств изображений, полученных в различных спектральных диапазонах. – Решение данной задачи позволит добиться следующих результатов: 1. Подбор оптимальных методов и параметров предварительной обработки изображений, позволяющих повысить качество распознавания. 2. Определение оптимальных принципов построения алгоритмов распознавания для каждого из спектральных диапазонов.

Предлагаемый подход к решению задачи основан на исследова-

нии распределений яркостей и контрастов, в частности – определении контурных и зонных свойств изображений. Методика анализа включает построение гистограмм распределения яркостей на изображениях местности и объектов, вычисление контурных препаратов изображений и другие методы. Анализ свойств изображений позволяет определить наиболее стабильные и ярко выраженные свойства изображений различных объектов. Это даст возможность определить принципы построения комплекса алгоритмов для предварительной обработки изображений и распознавания. Позволит также определить требования к эталонам, в результате чего возрастает эффективность разработки алгоритмов. Приведены примеры изображений, полученных в различных спектральных диапазонах, функций распределения яркостей и контрастов и другие данные, полученные при анализе результатов испытаний прототипа МССР разработки НПО машиностроения.

В.В.Савельев, А.В. Власкин. Автоматическое устранение скачкообразных геометрических искажений снимков оптического канала, получаемых с борта ЛА. – Разработка многоспектральных систем распознавания (МССР) объектов на изображениях весьма актуальна. Однако высокая точность локализации объекта на изображении возможна только при условии максимального устранения геометрических искажений снимков перед распознаванием. Главными аппаратными источниками геометрических искажений следует считать: - «Чересполосицу» снимков регистрирующей оптической камеры. – Дрожание последовательности изображений из-за вибраций носителя снимающей аппаратуры.

Предлагаемый алгоритм решения задачи учитывает характер вышеперечисленных источников геометрических искажений и делится на две последовательных стадии: выделение «особых» (так называемых реперных) фрагментов на серии изображений методами аналитической оценки информативности; корреляционную обработку информации о реперных фрагментах, полученной на первой стадии. Алгоритм внедрен в технологическое ПМО обработки данных ТВ-канала при испытаниях МССР разработки НПО машиностроения. Он прошёл экспериментальную апробацию и показал высокую эффективность при фильтрации геометрических искажений снимков.

В.В.Савельев, И.В. Качинский. Оценка парциальных распределений шумов наблюдения для многоспектральной системы распознавания изображений. – Предлагаемый подход к решению задачи основан на применении зонного метода распознавания, когда появляется возможность наложения эталонного зонного фильтра на наблюдаемое изображение (НИ) в точке привязки и, соответственно, разбиения

множества элементов НИ на подмножества, которые, предположительно, являются выборками, характеризруемыми конкретными парциальными распределениями. Построенные для таких подмножеств гистограммы яркостей в зонах НИ и являются базовой информацией для изучения статистических свойств шумов наблюдения в каждом из каналов МССР. Данный подход реализован в технологическом ПМО разработки НПО машиностроения. Анализ получаемых распределений позволяет, для каждого канала МССР, строить матрицу наблюдаемых контрастов и на ее основе – апостериорную оценку точности распознавания в данном канале, которая далее используется для фильтрации результатов распознавания при совместной обработке «разноканальной» информации.

В.В.Савельев, С.Н. Ануфриев. «Направленный поиск объектов на снимках ДЗЗ с использованием пирамидальных изображений». – При обработке снимков с большим числом элементов существующие алгоритмы, решающие задачу путем прямого перебора гипотез, становятся не всегда пригодными по соображениям быстродействия. В данной работе решается задача ускоренного обнаружения объекта на многоэлементном изображении ДЗЗ. Вариантом решения проблемы является направленный поиск (распознавание) объекта с использованием подхода, основанного на построении так называемых пирамидальных изображений. Суть данного подхода заключается в следующем: - Изображение ДЗЗ «укрупняется» в два, четыре, восемь и более раз по каждой из координат. – Ведется предварительный (быстрый) поиск наиболее правдоподобных гипотез на самом грубом изображении. Затем, после разукрупнения, анализ ведется только в небольшой окрестности каждой из наиболее правдоподобных гипотез, найденных на предыдущем шаге. Число шагов является одним из параметров.

Данный модифицированный алгоритм МП был отработан и протестирован на многоэлементных изображениях в рамках испытаний многоспектральной системы распознавания разработки НПО машиностроения. Полученные результаты показывают работоспособность изложенного подхода на многоэлементных изображениях и актуальность дальнейших исследований в этом направлении. Возможно, его предстоит дополнить другими мерами по сокращению времени распознавания, например, накоплением групп последовательных цифровых изображений с соответствующим прореживанием цикличности процедуры распознавания.

В.В.Савельев, А.А. Веретенников. Оценка точности измерения координат ЛА радиовысотомером по рельефу береговой линии. – Работа посвящена оценке распознавания сечений рельефа береговой ли-

нии и сравнения её с экспериментальными данными. Для оценки взаимного смещения НИ и эталонного изображения используется алгоритм максимума правдоподобия. В связи с аддитивным характером шумов в отчетах наблюдаемого профиля рельефа местности оптимальным в смысле максимума правдоподобия является корреляционный алгоритм классификации. При моделировании решались следующие задачи: экспериментальная проверка работоспособности статистических алгоритмов распознавания; аналитическая оценка распределения информативности поля рельефа для тестового участка; определения порогового соотношения между высотой берега и требуемой точностью высотомера. Результаты математического моделирования системы обнаружения береговой линии показали целесообразность реализации этого типа измерений в интеллектуальных системах управления ЛА.

С. А. Белоглазов, В.В. Савельев, М.В. Большаков, Л.М. Жебрак, С.Г. Милоченко, В. И. Просветов, А.Г. Трофимов, О.С. Дмитриева. Методика регистрации сигналов радиолокатора. – Решение задачи актуально при разработке многоспектральной системы распознавания изображений (МССР). Полученные в результате регистрации данные могут быть использованы для отработки алгоритмов РЛ канала. Наличие базы данных позволяет проводить итеративную отработку алгоритмов обработки радиолокационных сигналов, а также синтез и анализ РЛ изображений, фильтрацию шумов и поиск характерных объектов. Таким образом, обеспечивается многократное воспроизведение реальных условий обработки данных радиолокатора МССР без непосредственного проведения испытаний. Для вертолетных испытаний в НПО машиностроения было разработано ПО регистрации РЛ сигналов, реализующее метод непрерывной оцифровки сигнала с последующей записью на носитель оцифрованных данных, без промежуточной обработки. В докладе приведены результаты использования разработанной методики, полученные в ходе испытаний прототипа МССР разработки НПО машиностроения.

А.С. Дудкин, В.В. Савельев, А.И. Бурганский, М.В. Большаков, Л.М., Жебрак, С.Г. Милоченко, А.Г. Трофимов, О.С. Дмитриева, С.А. Белоглазов. Основные технические решения, примененные при создании вертолета-лаборатории. – Создание вертолета-лаборатории актуально, поскольку играет ключевую роль при решении ряда технических задач, таких как мониторинг земной поверхности, поиск неисправностей (утечек тепла) на различных объектах и т.д. При создании вертолета-лаборатории был разработан ряд технических решений, позволивший осуществлять: - Наблюдение земной поверхности в раз-

личных спектральных диапазонах. – Синхронную запись изображений наблюдаемой земной поверхности и параметров полета вертолета-лаборатории. – Параллельную запись информации в аналоговом и цифровом виде. – Координацию действий всех операторов и пилотов вертолета. – Запись изображения объекта в широком диапазоне дальностей без изменения ракурса наблюдения. – Цифровую фотосъемку земной поверхности.

Для решения этих задач был создан бортовой комплекс регистрации и обработки информации. Разработано программное обеспечение регистрации данных. Аппаратура бортового комплекса размещалась на специализированных монтажных стойках, установленных на борту вертолета-лаборатории. Испытания вертолета-лаборатории, в ходе которых была отработана методика проведения полетов, а так же последующий анализ результатов испытаний показали эффективность использованных технических решений для решения целого ряда задач, связанных с наблюдением объектов. В докладе приведено описание вертолета-лаборатории.

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

Итоги работы трёх секций этого научного направления подвели В.А. Матвеев, А.И. Бурганский и К.А. Пупков.

В своём выступлении на заключительном пленарно заседании В.А. Матвеев сказал: «В целом, конференция организована блестяще. Поразили прекрасные выступления студентов. Особо следует подчеркнуть, что эта конференция – Первая международная и что посвящена она нашему гению – Владимиру Николаевичу Челомею. Это был совершенно гениальный инженер, который владел в совершенстве буквально всеми современными инженерными технологиями, всеми научными методами. Я помню, как здесь, в этом зале он выступал и с удивительным увлечением рассказывал о влиянии вибрации на аномальное поведение тел в жидкости. Этот же задор был сохранён и на сегодняшней конференции. Спасибо организаторам».

НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ

К.А.Пупков. Интеллектуальные системы в космических задачах. – Развитие теории управления и информационных технологий, создание микропроцессорных вычислительных сред высокой производительности и стойкости к воздействующим факторам позволяет перейти к использованию новых принципов построения управления, использующих интеллектуальные системы. Под интеллектуальной системой понимается объединенная информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающая автономно или во взаимосвязи с человеком (коллективом людей). Она способна на основе сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, вырабатывать решение о действии и находить рациональные способы достижения цели.

Такая система позволяет при наличии цели по текущей информации принимать решение и вырабатывать управление для достижения этой цели. С её помощью могут быть решены многие космические задачи: - Управление сбором информации при космическом мониторинге земной поверхности; - Навигационное обеспечение полета с учетом неопределенности знания характеристик окружающей среды и объекта. – Обеспечение требований повышенного уровня адекватности моделей на основе идентификации параметров движения. – Реализация на борту терминального управления по текущей информации. – Сборка аппаратов в космосе. – Выход из нештатных ситуаций и т.п.

Рассматриваются способы построения интеллектуальной системы и проблемы, связанные с синтезом цели, формированием динамической экспертной системы и параллельными вычислениями.

К.А.Пупков, К.А.Неусыпин, Чыонг Данг Кхоа. Управление летательным аппаратом при сближении с маневрирующим объектом. – Рассматривается задача сближения с объектом, совершающим синусоидальный маневр. Исследуется плотность вероятности промаха при сближении летательного аппарата (ЛА) с динамическим объектом при наличии ошибок измерения, флуктуаций сигнала и маневра объекта. Для решения этой задачи использован приближенный метод решения матричного уравнения Риккати. Эффективность полученного воздействия управления была исследована в условиях синусоидального маневра объекта, флуктуаций сигнала отраженного от объекта и шума измерений. При этом оценивалась плотность вероятности промаха в процессе управления. Моделирование задачи сближения ЛА с объектом на ЦВМ проводилось для трех гипотетических случаев. Анализ результатов показывает, что при маневре объекта по синусоидальному закону, плотность вероятности промаха имеет вид бимодального распределения. При этом распределении возрастает вероятность больших значений ошибки.

Управление ЛА предлагается осуществлять следующим образом: - наведение строится при прямолинейной гипотезе движения объекта, определенное как средняя синусоидального маневра; - на конечном этапе управление ведется по предсказанному реальному положению объекта. Таким образом, предложен и исследован новый метод решения задачи сближения ЛА с объектом, совершающим синусоидальный маневр, позволяющей существенно уменьшить вероятность больших величин промаха при сближении ЛА с объектом.

Р. Abkarian (Франция). Представитель Национального бюро аэрокосмических исследований (Toulouse, France, ONTRA) представил обстоятельный доклад на английском языке на тему «Новые алгоритмы проектирования систем управления». В докладе отражен опыт работы в этой области французских специалистов. Отмечена возрастающая роль в разработке новых, более совершенных алгоритмов проектирования систем управления современных компьютерных технологий. Доклад был выслушан участниками заседания с большим интересом и завершился оживлённым обсуждением.

В.В.Евстифеев, А. Хаммуд. Нейронные сети в адаптивных системах. – Адаптивные свойства нейронных сетей предоставляют новые возможности разработчику. Важное преимущество такой системы заключается в сохранении структуры существующей (базовой) систе-

мы управления. Идентификация параметров базовой системы управления осуществляется нейроидентификатором с архитектурой однослойной статической нейронной сети, состоящей из четырёх нейронов с линейными функциями активации. Предлагается применить адаптивную эталонную модель системы управления. При работе системы блок адаптации, включающий многослойную нейронную сеть и компенсатор, формирует сигнал коррекции, компенсируя неопределенности и нелинейности системы управления, которые невозможно учитывать в процессе ее проектирования. Эффективность предложенного принципа построения адаптивной системы, а также методики расчета, разработанных алгоритмов и программного обеспечения подтверждается результатами моделирования в среде ППП Matlab и Simulink адаптивной системы управления продольным движением летательного аппарата. Полученные научные результаты и моделирование подтвердили работоспособность адаптивной системы управления предложенной структуры и показали возможность использования принципов ее построения при интеллектуализации как разрабатываемых перспективных, так и при модернизации существующих систем управления различного назначения.

А.В. Сенькин. Микропроцессорный самонастраивающийся регулятор стенда теплопрочностных испытаний. – Работа посвящена разработке алгоритма управления модулем нагрева стенда теплопрочностных испытаний. Отличительная особенность этого алгоритма в том, что для его построения не обязательно априорно знать описание объекта регулирования в виде, например, передаточной функции. В рассматриваемой системе управления учитывается наличие возмущающих воздействий в виде случайных помех и изменений характеристик объекта. Для обеспечения требуемых показателей качества регулирования ставится задача синтезировать самонастраивающийся регулятор. Структура самонастраивающегося регулятора включает упредитель, оцениватель параметров регулятора и непосредственно сам регулятор с перестраиваемыми параметрами. Разработан алгоритм регулирования, позволяющий воспроизводить с допустимой точностью заданную температурную зависимость. Работоспособность алгоритма проверялась на модели объекта в виде апериодического звена вместе со звеном чистого запаздывания. Для моделирования использована базовая версия программного продукта TRACE MODE 5.

А.А. Лунев. Синтез адаптивной системы автоматического управления установкой для теплопрочностных испытаний (УТПИ). – В настоящее время в НПО «Машиностроение» эксплуатируется стенд для теплопрочностных испытаний с ручным управлением. Наиболее

ответственная часть такого стенда – подсистема воспроизведения температурных полей и градиентов, близких по конфигурации к тем, что возникают в реальных условиях. Для воспроизведения профиля температуры с заданной точностью поверхность изделия разбивают на определенные участки – зоны нагрева. Каждая зона состоит из кварцевых галогеновых ламп, которые запитываются от управляемых источников электроэнергии. Для каждой зоны нагрева задается временная зависимость изменения температуры. На испытательном стенде могут проводиться теплопрочностные испытания различных конструкций летательных аппаратов (ЛА) с сильно меняющимися параметрами, такими как теплоемкость, теплопроводность, степень черноты. Также могут сильно меняться и темпы нагрева при испытаниях. Необходимым условием работы проектируемой системы автоматического управления (САУ) является обеспечение заданного качества управления при больших вариациях параметров объекта управления (ОУ).

Для решения поставленной задачи предлагается использовать методы адаптивного управления. Уравнения полученной математической модели ОУ являются нелинейными (по отношению к переменным состояния системы) и с распределенными параметрами. Математическая модель исполнительного механизма (тиристорного блока или РПП) также является нелинейной. Для исследования динамики и разработки адаптивного регулятора математические модели были запрограммированы в системе Simulink. Адекватность математических моделей была проверена экспериментами. Одним из основных требований, предъявляемых к адаптивным законам управления, является минимум времени на вычисления и быстрая сходимости алгоритма самонастройки. За основу был взят самонастраивающийся регулятор, работающий по принципу оптимальной фильтрации Калмана. Произведена оценка влияния частоты дискретизации на качество регулирования. Результаты моделирования показали работоспособность алгоритма на нелинейной модели ОУ при медленном изменении его параметров.

И.В. Белоусов, В.Н. Паньшин. Самоадаптация эволюционных алгоритмов. – Одним из перспективных направлений современных информационных технологий являются методы случайного поиска – эволюционные алгоритмы (методы эволюционного моделирования, эволюционные вычисления). Эффективность эволюционных алгоритмов (ЭА) определяется, как правило, скоростью и устойчивостью поиска решения. Скорость ЭА определяется временем, необходимым для выполнения заданного критерия. В работе рассматриваются перспективные подходы к самоадаптации ЭА, которые могут существенно сократить временные затраты решения исходной задачи в целом, и адапта-

ции схемы ЭА в частности. На примере решения оптимизационной тестовой задачи с целевой функцией Растригина проведены предварительные исследования возможности самоадаптации ЭА (в части размера поколения) при решении задачи с разной размерностью и с разными требованиями к качеству и скорости решения. В результате исследований получены зависимости необходимого размера поколения от размерности задачи, требуемого качества или скорости решения.

А.Д. Устюжанин. Исследование динамики систем «человек-машина» при воздействии вибраций. – Поставлена задача идентификации динамических свойств человека-оператора с учетом воздействия вибраций. На основании полученных результатов необходимо оценить устойчивость и точность работы системы человек-машина. Концептуальная модель системы человек-машина дополнена имитатором вибрационных воздействий. Возникают две задачи: 1 – исследовать изменчивость ядер функционалов Винера при воздействии вибраций на человека-оператора в зависимости от их полосы частот и уровня; 2 – исследовать динамические свойства человека-оператора при действии вибраций со спектральной плотностью «белого» шума. Модель человека-оператора представляется в виде ряда из G-функционалов Винера. Ядра G-функционалов определяются через реализации входного и выходного процессов. Записи этих реализаций получаются в результате эксперимента при различных спектральных характеристиках вибраций. Ядра, полученные при решении первой задачи, характеризуют динамику человека-оператора по информационному каналу при наличии вибраций. Ядра, полученные при решении второй задачи, характеризуют динамику восприятия вибрации человеком-оператором и могут быть использованы для оценки веса составляющей ошибки, вызванной влиянием вибрации.

Н.Б. Филимонов, А.П. Соколов. Построение искусственной нейронной сети, моделирующей работу системы стабилизации летательного аппарата. – Рассматривается работа системы стабилизации ЛА по углу тангажа. Работа системы стабилизации представлена в виде некоторого дискретно-непрерывного процесса, как совокупность конечных операций с заданной последовательностью выполнения. Алгоритм, моделирующий функционирование системы стабилизации, сначала составляется в виде блок-схемы. При решении дифференциальных уравнений использован метод численного интегрирования Эйлера. На основании дифференциальных уравнений, описывающих поведение каждого элемента системы и схемы их численного интегрирования, составлена блок-схема алгоритма, моделирующего работу всей системы стабилизации. Для анализа алгоритма была разработана про-

грамма Classic, на алгоритмическом языке программирования C++. Результаты ее работы сравниваются с результатами моделирования в SimuLink'e. В соответствии с построенной блок-схемой и системой бинарных отношений ее элементов была построена информационная блок-схема моделирующего алгоритма, выявляющая все информационные взаимосвязи, необходимые для его функционирования. Показана возможность построения сетевой модели, имитирующей протекание динамических процессов в системе управления, путем преобразования алгоритма численного моделирования к «сетевому» виду.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛА

Работа секции проходила под руководством Бурганского А.И., В.А. Матвеева и А.В. Туманова. Докладчики представляли научные коллективы ФГУП «НПО машиностроения» и МГТУ им. Н.Э. Баумана. В работе секции наряду с крупными учеными и ведущими специалистами промышленности активно участвовали молодые специалисты, аспиранты и студенты Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана при НПО машиностроения.

Н.Б. Филимонов. Мехатронная парадигма развития техносферы. – Техносфера – это совокупность технических средств, созданных человечеством для обеспечения жизнедеятельности людей на планете. Ключевым вопросом устойчивого развития планеты является вопрос соотношения структур и параметров биосферы и техносферы. Развитие техносферы на современном этапе, проявляя закономерности, схожие с закономерностями развития биосферы, создает предпосылки для разработки биоморфных систем сверхвысокого уровня сложности. Современный термин «мехатроника» (mechatronics) введен в начале 70-х годов прошлого столетия, как комбинация слов «МЕХАника» и «ЭЛЕКТРОНИКА».

Предлагается следующее расширенное определение термина «мехатроника», сохраняющее при этом его первоначальный смысл. Мехатроника – область науки и техники, интегрирующая механику, микроэлектронику, автоматику и информатику в целях изучения принципов и создания средств автоматического и автоматизированного управления передачей физической энергии в технических объектах и технологических процессах. Научным фундаментом мехатроники являются, прежде всего, достижения в таких областях знаний, как точная механика, микроэлектроника и теория автоматического управления. Мехатронные системы интегрируют в единой конструктивной компоновке механическую, энергетическую и управляющую части. В идеале данная интеграция предполагает миниатюризацию функциональных элементов системы, использование технологий максимального уплотнения механических и высокой концентрации электронных компонентов системы, обеспечивающих снижение массы, сокращение размеров, высокие быстродействие и точность, большую надежность, безопасность функционирования и малое потребление энергии, а также относительно низкую стоимость.

Очевидно, что максимально возможная степень интеграции в сочетании с наивысшим уровнем интеллектуализации составляют по-

следнюю парадигму развития мехатронных систем. В настоящее время мехатроника во всем мире начинает активно внедряться в повседневную практику. Фактически, происходит мехатронизация техносферы – решительный поворот развития техносферы в направлении создания промышленных, энергетических и транспортных мехатронных систем. На современном этапе развития общества особенно возрастает потребность в мехатронизации всех сфер человеческой деятельности.

В.Ю. Лапин, А.В. Туманов, А. И. Яковлев. Астронавигационная терминальная система управления крылатых ракет стратегического назначения. – Предлагается структуры астроинерциальной терминальной системы управления для крылатой ракеты (КР) стратегического назначения, которая характеризуется высокой точностью, надежностью и реализуется при меньших финансовых затратах по сравнению с известными системами управления КР этого класса. Структура системы управления включает малогабаритный звездный датчик, функционирующий по полю небесной сферы, который корректирует систему инерциальной навигации, уменьшая ее погрешности, а также участвует в определении координат КР в любой точке прямолинейного маршевого участка траектории полета.

Система инерциальной навигации включает универсальную трехстепенную платформу на динамически настраиваемых гироскопах, точные акселерометры и современную малогабаритную БЦВМ. Для определения координат центра масс КР необходимо определить на борту КР угловое положение визируемых звезд относительно направления местной вертикали. В работе приведены аналитические зависимости для построения гировертикали повышенной точности и определения координат КР на траектории ее полета. Терминальное управление компенсирует ошибки изменения параметров КР от их расчетных значений, а также учитывает изменение внешних условий полета КР. Приведена структура рассматриваемой системы управления КР, исследованы альтернативные варианты приборного состава и погрешности режимов управления.

И.В. Белоусов, Г.Г. Плавник, Н.Б. Филимонов. Параметрический синтез квазиоптимальных по быстродействию алгоритмов адаптивной стабилизации сложных динамических объектов. – Для разработки оптимальных алгоритмов стабилизации сложных динамических объектов с критерием оптимальности произвольного рельефа весьма эффективным оказывается применение стохастических методов квазиоптимизации. В работе демонстрируется использование одного из направлений случайной квазиоптимизации (эволюционных стратегий) при параметрическом синтезе оптимальных по быстродействию алгоритмов адап-

тивной стабилизации сложного динамического объекта, на примере пространственной стабилизации командной перегрузки ЛА с 6-ю независимыми отклоняемыми поверхностями пневматическими приводами, расположенными по схеме «х».

Рассматриваемый объект управления описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений 60-го порядка. Быстродействие алгоритма стабилизации оценивается по времени вхождения действительной перегрузки в 5%-ную окрестность командного сигнала. При этом параметры алгоритма стабилизации оптимизируются отдельно для нескольких условий полёта: высоты, скорости или скоростного напора. После чего формируется гипотеза о функциональной зависимости параметров алгоритма стабилизации от условий полёта и осуществляется оптимизация параметров гипотезы (функциональной зависимости). Верификация показала, что разработанный алгоритм стабилизации по отношению к существующим алгоритмам позволяет сократить время отработки командного сигнала в несколько раз.

С.Н. Друзькин. Имитация сигналов датчиков системы управления летательным аппаратом при полунатурном моделировании. – Проведение исследований системы управления летательных аппаратов (ЛА) на комплексах полунатурного моделирования (КПМ) является одним из важнейших этапов наземной экспериментальной отработки. Чувствительные элементы заменяются программно-аппаратными имитаторами. Сигналы, формируемые имитаторами должны максимально точно соответствовать сигналам реальных датчиков. Одним из основных измерительных инструментов СУ является блок инерциальной навигационной системы (НС), измеряющий текущие значения угловых скоростей и линейных ускорений и выдающий в СУ расчетные значения текущих линейных координат и углового положения ЛА.

Имитатор НС реализован на основе штатного НС с подключением вместо модуля чувствительных элементов программно-аппаратного модуля, реализованного на универсальном персональном компьютере (ПК). Требуемая частота импульсных сигналов, имитирующих сигналы гироскопических датчиков и акселерометров, лежит в диапазоне от 0,01 Гц до 40 кГц, что порождает техническую проблему формирования сигналов на низких частотах – до 1 Гц. Программно-аппаратный модуль реализован с помощью платы интегральных таймеров/счетчиков серии 8254, устанавливаемой в универсальный ПК. Натурные испытания (НИ) показывают хорошее совпадение результатов моделирования на КПМ с имитатором НС, телеметрической информации НИ и внешне траекторных измерений НИ.

С.Н. Друзькин, В.Н. Кострикин, И.Н. Прокошев. Стендовая от-

работка системы управления ЛА. – Для наземной отработки бортового оборудования в режиме реального времени с использованием штатных комплектов аппаратуры, и полетного задания создан и применяется комплекс полунатурного моделирования. Комплекс состоит следующих частей. 1. Изделие – штатный комплект электрооборудования, штатные приборы систем управления и автоматики, штатные электрогидравлические приводы воздушных рулей, штатная кабельная сеть и программно- аппаратные имитаторы (ПАИ). 2. Вычислительно моделирующий комплекс (ВМК), выполняющий моделирование процессов движения объекта и фиксацию параметров моделирования. 3. Комплекс ПАИ (имитаторы датчиков угловых скоростей, перегрузок, радиовысотомера, сигнализаторов и исполнительных органов бортовой автоматики), обеспечивающий сопряжение вычислительно моделирующего комплекса с аппаратурой изделия.

Математическое моделирование режимов предстартовой подготовки и движения объектов, выполняется на ВМК в режиме реального времени. Через комплекс имитаторов выдаются имитируемые сигналы чувствительных элементов в измерительные приборы изделия. СУ изделия, в соответствии с заложенными алгоритмами и полетным заданием, формирует сигналы и команды управления оборудованием изделия, в частности формирует сигналы на отклонение исполнительных органов. Отклонения рулей, сигналы и команды СУ через аналогово-цифровые преобразователи передаются в ВМК. Сравнение результатов моделирования с данными натурных испытаний указывает на их практическое совпадение.

В.В. Виленский, В.Ф. Матвеев, Е.Е. Чугунов. Повышение точности бесплатформенной гироскопической системы ориентации ИСЗ в режиме орбитальной гиropaмяти. – Для рассматриваемой схемы гироскопической системы ориентации ИСЗ, содержащей бесплатформенный гироскоп ориентации БГО, звездный датчик ДЗ и вычислитель, к которому подключен источник навигационной информации, исследованы составляющие ошибок системы в режиме орбитальной гиropaмяти. Показано, что собственный уход гироскопов и ошибки предыдущего режима коррекции по каналам курса и крена обуславливают гармонические ошибки с частотой орбитального движения и постоянной амплитудой. Прецессия орбиты по данным каналам приводит к дополнительным ошибкам, частота которых соответствует частоте орбитального движения, а амплитуда непрерывно возрастает. По каналу тангажа в режиме орбитальной гиropaмяти из-за эллиптичности орбиты ошибка непрерывно возрастает. С целью увеличения времени орбитальной гиropaмяти системы при по-

вышенной точности предложены алгоритмические пути уменьшения постоянно возрастающих погрешностей путем формирования и введения соответствующих поправок и выбора времени перехода в гиropaмь.

Д.Н. Кирющенко, Э.Д. Суханов. Об одной концепции построения интеллектуальных систем управления летательных аппаратов. – К современным системам управления (СУ) перспективных летательных аппаратов предъявляются всё более возрастающие требования. Это приводит к необходимости помимо принципов робастного и адаптивного управления и их комбинаций использовать методы искусственного интеллекта, разрабатывать концепции интеллектуальных систем управления. В докладе рассматривается новый подход построения интеллектуальных СУ в которых задачи синтеза цели, выработки решения о действии и рационального способа достижения цели при наличии мотивации могут быть решены автономно на основе сведений и знаний собственного состояния, объекта управления и внешней среды. Новизной рассматриваемого подхода является сочетание метода искусственного интеллекта с наземными комплексными испытаниями СУ, бортовых систем, бортового программно-математического обеспечения и полетных заданий методом полунатурного моделирования. При этом процесс комплексных испытаний может рассматриваться как процесс «обучения», а его результаты являются основой базы сведений и знаний интеллектуальной СУ летательного аппарата.

Приводится пример реализации идеи академика В.Н. Челомея по построению такой системы, работающей во взаимодействии с космонавтом-оператором, при использовании аналога орбитальной пилотируемой станции «Алмаз», работающего в режиме сопровождения орбитального полета.

А.В. Кулаков, М.В. Палкин. Концепция относительно недорогих систем управления движением аэробаллистических аппаратов. – Появившаяся в последнее время тенденция к созданию относительно недорогих аэробаллистических средств высокоточного позиционирования с элементами искусственного интеллекта предполагает пересмотр существующих взглядов на принципы построения логики управления. Перспективной является идея оборудовать существующие неуправляемые изделия управляющим модулем дооснащения (УМД), содержащим, среди прочего, интеллектуальные средства приема и обработки информации, выдачи управляющих команд на интегрированные в структуру модуля органы управления. Первой отличительной чертой таких систем является то, что они не полностью управляют ходом решения задачи, а лишь выполняют некоторые корректирующие дейст-

вия, встраиваясь в существующий алгоритм работы оснащаемого ими изделия. Второе отличие состоит в том, что модуль может быть реализован на дешевой и общедоступной неспециализированной элементной базе, что обеспечит возможность его крупносерийного производства. УМД является дополнением к опробованной и широко применяемой технической системе, обладающей гарантированными показателями. Предлагаемое техническое решение подкреплено 5 патентами и 2 приоритетными справками Российской Федерации.

С. М. Асатуров. Рестриктивная фильтрация в задаче оптимального линейного оценивания. – В работе рассматривается задача линейного оценивания ошибок инерциальной навигационной системы (ИНС). Исследование проводилось с учетом стохастических и неопределенных моделей возмущений, связанных с дрейфами осей гироскопов ИНС, ошибками акселерометров, влиянием гравитационных и геомагнитных аномалий. Моделированием на ЭВМ проведен сравнительный анализ оценивания ошибок ИНС с помощью адаптивного рестриктивного фильтра и минимаксного фильтра Калмана, рассчитанного на максимальную дисперсию неопределенных возмущений. Анализ результатов моделирования показал, что ошибки вектора скорости ЛА в некоторых случаях лучше оценивает адаптивный рестриктивный фильтр, а ошибки позиционных компонент и курса ЛА – минимаксный фильтр Калмана.

Р.П. Симоньянц, И.Е. Чифиров, И.В. Тимаева. Динамика комплексной системы нацеливания аппаратуры ДЗЗ и стабилизации малого космического аппарата. – Обеспечение высокой производительности средств наблюдения при создании малых космических аппаратов (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – актуальная задача. Её решение зависит от свойств системы ориентации и стабилизации МКА, от выбранного способа и особенностей процесса нацеливания аппаратуры зондирования. Для исследования этих процессов разработана математическая модель управляемого пространственного движения МКА как системы взаимодействующих нежестких тел. Рассматривается двухуровневая схема управления, основанная на разделении движения корпуса и движения блока аппаратуры зондирования (БАЗ). Корпус с солнечными батареями стабилизируется грубо, а точное нацеливание БАЗ осуществляется системой управления второго уровня с помощью электрического сервопривода. Компенсация возмущений упругого корпуса МКА от сервопривода, управление ориентацией и стабилизация МКА по трём каналам осуществляется одноосными маховиками. Модель позволяет исследовать влияние характеристик нежесткой конструкции, влияние распределения масс МКА и

влияние характеристик подвижного блока аппаратуры ДЗЗ на параметры движения системы, на точность нацеливания аппаратуры ДЗЗ.

Т.А. Бычкова, Р.П. Симоньянц, И.Е. Чифилов. Система ориентации и стабилизации сверхмалого спутника с маховиком и магнитными исполнительными органами. — Для решения ряда задач на околоземной орбите целесообразно использовать наиболее экономичные с точки зрения разработки, запуска и эксплуатации спутники, относящиеся к классу сверхмалых космических аппаратов. При этом необходимо использовать системы ориентации и стабилизации с минимальным количеством элементов. В докладе рассмотрена задача синтеза комплексной системы ориентации и стабилизации с одноосным маховиком и магнитными исполнительными органами (магнитоприводами). Маховик, ось которого параллельна оси тангажа, предварительно раскручивается до номинальной величины кинетического момента. Активное управление по тангажу создаётся за счет изменения модуля кинетического момента в заданных пределах. По крену и курсу осуществляется пассивная стабилизация за счет восстанавливающего действия гироскопических моментов маховика. Магнитоприводы используются, во-первых, для парирования начальных угловых скоростей и, во-вторых, для сброса кинетического момента, накопившегося от действия внешнего возмущения. Управление пространственным движением МКА с помощью магнитоприводов ограничено условием неэффективности магнитопривода вокруг направления вектора магнитной индукции магнитного поля Земли. Разработана математическая модель, описывающая динамику пространственного движения МКА с рассматриваемой системой управления ориентацией и стабилизации. Исследовались динамические режимы МКА при использовании различных законов управления. Исследования показали, что синтезированная комплексная система обеспечивает отработку начальных условий и стабилизацию КА на всех участках с точностью $\pm 2^\circ$ по углу и $\pm 0.1\%$ по скорости независимо от ориентации КА относительно МПЗ.

ДИНАМИКА УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ

Ю.А. Прохорчук. Оптимальное управление межорбитальным перелётом космического аппарата с двигателем малой тяги. — Управление состоит в задании ориентации КА в каждый момент времени, а также в выборе моментов включения и выключения двигателя, тяга которого не регулируется по величине и не отклоняется по направлению относительно КА. Предполагается, что координаты и параметры орбиты КА известны точно, а управление реализуется идеально. Минимизируются затраты топлива для перехода между заданными точками за фиксированное время. Задача решается с применением принципа максимума Понтрягина, позволяющего задачу на минимум функционала свести к решению краевой задачи для расширенной системы дифференциальных уравнений.

Приводится математическая постановка задачи, для решения которой требуется начальное приближение вектора параметров. Его не всегда удастся отыскать, что сдерживает возможность применения принципа максимума Понтрягина. Для рассматриваемой задачи найдено частное решение и построен алгоритм получения решения в широкой области входных параметров. Приведено параметрическое решение частной задачи об оптимальном перелёте КА с электрореактивным двигателем с произвольной промежуточной эллиптической орбиты на геостационарную орбиту в заданную точку стояния. Приводятся результаты расчета: параметры оптимального управления и траекторий, а также их зависимости от заданной продолжительности выведения и начальных условий. Полученные результаты могут быть использованы в качестве базы для практического решения широкого спектра аналогичных задач.

Г. Г. Скиба. Идентификация аэродинамических коэффициентов на основе высокоточных уравнений движения управляемого космического аппарата. — Рассматривается пространственное движение ЛА в околоземном пространстве с учетом влияния атмосферы. Аэродинамические характеристики (АДХ) названа совокупность шести безразмерных нестационарных параметров относительно жестко связанной с недеформируемой частью ЛА системы координат. Указанная совокупность шести АДХ является фиксированной (универсальной) для любых ЛА ракетно-космических и самолетных схем. Аэродинамическими коэффициентами (АДК) названы правые части АДХ, вскрывающие их структуру в зависимости от кинематических параметров движения ЛА и принимаемые «постоянными» (функциями критериев

подобия) на отдельных участках полета.

Весь алгоритм идентификации условно разделён на стандартную (универсальную) часть 1, общую для любых ЛА, и нестандартную (индивидуальную) часть 2 для каждого конкретного ЛА. В структуре АДХ левые части входят в часть 1, а АДК правых частей – в часть 2. Сначала для конкретного диапазона значений времени идентифицируются АДХ. Обобщенный алгоритм включает: интегрирование по времени уравнений моделирования движения ЛА и уравнений для функций влияния; определение перегрузок и функций влияния на перегрузки; идентификацию АДХ в соответствии с разработанной схемой и идентификацию АДК.

Ву Нгок Хое (Вьетнам), *Г. Г. Скиба*. Идентификация аэродинамических коэффициентов по данным аэробаллистических испытаний. – Точность определения аэродинамических коэффициентов (АДК) по данным аэробаллистических испытаний (АБИ) определяется точностью регистрации кинематических параметров движения модели, с одной стороны, и точностью применяемых при обработке АБИ математических моделей и методов – с другой. Методические ошибки непосредственно связаны с предположениями, позволяющими упростить процесс идентификации АДК. Например, часто употребляемое в практике АБИ (а также и в летных испытаниях) предположение о независимости поступательного движения ЦМ и вращательного может приводить к методическим ошибкам, соизмеримым с собственными значениями АДК.

Представлена математическая модель применительно к условиям АБИ и методика идентификации с использованием функций влияния. Повышенная точность АДК достигается применением в разработанном алгоритме высокоточной системы уравнений движения ЦМ модели, вращательного движения и кинематики. Однако для определения функций влияния используются уравнения при существенных упрощающих предположениях. Возникающие в таком случае в процессе идентификации погрешности функций влияния последовательно исключаются с помощью итераций многократным применением высокоточной модели. Разработан метод решения задачи идентификации АДК по измерениям угла атаки с применением нелинейной структуры аэродинамических характеристик. Возможности разработанного метода и алгоритма иллюстрируются примером. В примере рассмотрена также обработка АБИ с помощью разработанного в США метода и алгоритма. Результаты экспериментальных испытаний сравниваются с результатами теоретического расчета.

Ватолина, В.В. Горский. Методика газодинамического расчёта

на теле сложной формы для систем автоматизированного проектирования ракетно-космической техники. – К настоящему времени накоплен значительный объем как инженерных, так и строгих численных методов решения задач обтекания тел невязким газовым потоком, записанных в форме уравнений Эйлера. Однако первые из них характеризуются недостаточно высокой точностью, а вторые – значительной трудоемкостью получения решения. Практически все известные методы решения газодинамических задач пригодны к использованию только в определенных интервалах изменения определяющих параметров. Все это вызывает значительные трудности при создании автоматизированного программного комплекса. Авторами разработана методика, возможность использования которой на различных этапах проектирования изделия базируется на включении в нее как различных приближенных методов, так и интерполяционного подхода. Интерполяционный подход применяется к затабулированным результатам: - расчетно-теоретических исследований по двумерному обтеканию затупленных конусов и клиньев; - углубленных расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, которыми располагает пользователь на данной стадии проектирования конкретного изделия. Возможность использования данной методики для проведения сквозных газодинамических исследований по линии движения изделия базируется: 1) на объединении в единую систему замкнутого набора методов расчета, обеспечивающего возможность проведения исследований во всем возможном диапазоне изменения чисел Маха и характерного углового размера; 2) на автоматическом переходе от одного метода расчета к другому при выходе числа Маха и характерного углового размера за границы допустимых их значений.

Д.А. Забарко, В.П. Котенев. Метод расчёта сверхзвукового обтекания затуплённых тел с учётом неравновесных физико-химических превращений в рамках уравнений Навье-Стокса. – На основе метода установления решения по времени разработан численный метод интегрирования системы, состоящей из уравнений Навье-Стокса, неразрывности и энергии, дополненной уравнениями химической кинетики. На первом этапе интегрируются уравнения Эйлера, неразрывности и невязкое уравнение энергии. На втором – решение уточняется с использованием “вязкой” части уравнений Навье-Стокса и энергии. На третьем – решаются уравнения химической кинетики. “Невязкая” часть системы уравнений решается при помощи явной двухшаговой конечно-разностной схемы Мак-Кормака, “вязкая” же подсистема интегрируется при помощи неявного метода прогонки.

Приводятся результаты расчетов осесимметричного и простран-

ственного обтекания сферически затупленных конусов, а также сравнение с экспериментальными и расчетными данными.

Анализ полученных результатов свидетельствует о возможности применения предложенного метода для расчета параметров химически неравновесного вязкого ударного слоя, в том числе тепловые потоки к поверхности тела и концентрации компонентов смеси газов, включая характеристики прибортовой плазмы. Затраты машинного времени остаются приемлемыми и значительно меньшими, чем при использовании полностью неявных схем во всей рассматриваемой области без выделения головной ударной волны.

Л.А. Бондаренко, А.В. Братчев, Т.Р. Вартанов, А.Н. Лаврентьева, А.В. Плюснин. Математическое обоснование крупномасштабных газодинамических испытаний. – Накопленный опыт в газодинамике подводного старта и математическом моделировании газодинамических процессов позволяет на этапе отработки старта заменить большой объем предварительных модельных испытаний крупномасштабными или практически натурными испытаниями на наземном газодинамическом стенде. Пример такого подхода реализован в газодинамическом стенде НПО машиностроения. В результате теоретического и расчетного анализа была определена схема проведения испытаний, позволяющая выполнить комплексную задачу испытаний и оптимизировать выбор других технических средств, необходимых для ее осуществления. Параметры, полученные при модельных испытаниях, удовлетворительно согласуются с результатами натурных испытаний, проведенных позднее. В докладе дано обоснования методики моделирования газодинамики подводного старта и двух других схем моделирования газодинамического разделения систем – за счет поршневого эффекта и за счет реактивной силы.

НЕЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ.

Заседание секции этого научного направления прошло на кафедре «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством К.В. Фролова, О.Н., Тушева, А.Г. Горшкова, И.О. Эмри (Словения) и С.В. Аринчева. Были представлены работы, выполненные в МГТУ им. Н.Э. Баумана, в НПО машиностроения, в МАИ (Технический университет) и в Центре экспериментальной механики Люблянского университета Республики Словения.

А.Г. Горшков, А.Л. Медведский, Л.Н. Рабинский. Нестационарные задачи дифракции акустической волны на жёстких препятствиях. – Для определения давления в отраженной волне используется переходная функция, полученная на основе гипотезы тонкого слоя. В рамках этой гипотезы получена одномерная по пространству начально-краевая задача для уравнения в частных производных в системе криволинейных координат, связанной с главными кривизнами препятствия. Уравнение содержит переменные коэффициенты, связанные с кривизнами препятствия. Для решения задачи используется интегральное преобразование Лапласа. При этом производится аналитическое обращение полученных трансформант в замкнутом виде.

Необходимо отметить, что построенная переходная функция удовлетворяет предельным соотношениям при малых и больших моментах взаимодействия. Построенная переходная функция позволяет в виде свертки получить решение для произвольно изменяющегося по времени давления в падающей волне. Приведены результаты расчета давления в акустической среде для задачи дифракции плоской косой волны давления на криволинейных препятствиях в виде параболического, гиперболического и эллиптического цилиндров. Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ на поддержку ведущих научных школ, № НШ-1278.2003.1.

И. Emri (Словения). Влияние термомеханических граничных условий на формирование структуры полимеров. – Известно, что различные граничные условия отвердевания жидкого материала могут привести к различным его макроскопическим свойствам. Макроскопическое поведение полимерных материалов в твердом теле определено свойствами их молекулярной структуры, термическими и гидромеханическими граничными условиями, в которых материалы находились при отвердевании. Отвердевание и формирование структуры полиме-

ров – сильно нелинейный процесс, проявляющий в некоторых случаях даже хаотический характер поведения. Влияние термо – гидромеханических граничных условий, в особенности влияние температуры и давления, на структурное строение аморфных материалов относительно хорошо изучено. Свойства аморфных полимеров могут быть смоделированы и предсказаны использованием термодинамики равновесия. Намного меньше известно о влиянии термомеханических граничных условий на формирование структуры полупрозрачных полимеров. Сильная нелинейная связь между давлением, температурой и структурой материала была полностью признана только недавно. Автором получена приведенная в докладе упрощенная диаграмма состояний полимерной системы. Понимание того, как влияют давление и температура на поведение полимеров и на формирование их структуры, имеет большое значение в развитии новых технологий полимеров и материалов нового поколения.

О.Н. Тушев, С.Э. Зайцев. Решение нестационарной задачи для механической системы при случайном воздействии. – Рассматривается решение задачи, описываемой обыкновенным векторным нелинейным дифференциальным уравнением. Считается, что внешние воздействия нестационарные аддитивные или мультипликативные, определены в рамках корреляционной теории и известны статистические характеристики начальных условий. Известны методы решения подобных задач, однако, они применимы либо для простых систем, либо для систем, подверженных стационарным воздействиям.

Предлагается общий подход к решению рассматриваемого класса задач, не требующий приведения реальных случайных процессов к белым шумам, что по существу снимает ограничения на стационарность внешних воздействий. Излагаемый в докладе аппарат пригоден для широкого круга задач динамики. Решение находится с использованием статистической линеаризации и матриц фундаментальных решений, которые представляются мультипликативными интегралами. При ограничении квадратическим приближением в случае мультипликативных помех, получается удобная явная зависимость относительно элементов корреляционной матрицы внешнего воздействия, что позволяет выявить «вклад» каждой из них в динамическое поведение системы. В предлагаемой схеме вычислений удалось избежать вычислительной неустойчивости, которая возникает при машинной реализации разрешающих соотношений для вторых моментов существующими методами. В качестве примера рассматривается задача выбора параметров системы амортизации, обеспечивающей допустимые перегрузки защищаемого объекта, при нестационарных случайных внешних

динамических нагрузках.

О.Н. Тушев, А.В. Коростелев. Метод определения параметрических коэффициентов чувствительности нелинейных динамических систем по сопряженным уравнениям. – Движение рассматриваемой системы описывается векторным нелинейным дифференциальным уравнением в форме Коши. Начальные значения времени интегрирования и вектора фазовых координат определяются функциями, зависящими от параметров системы. В настоящее время в литературе широко представлены методы дифференцирования исследуемой системы по параметрам, чувствительность к изменению которых анализируется. Их применение в случае большой размерности вектора фазовых координат и вектора параметров приводит к необходимости интегрирования цепочно-связанной системы совместно с уравнениями движения. При этом задача становится громоздкой и резко увеличивается объем вычислений. Для задач инженерного приложения данный аппарат является излишне информативным.

Предлагаемый метод лишен данного недостатка, поскольку не требует интегрирования цепочно-связанных дифференциальных уравнений. В рассмотрение вводится вектор сопряженных переменных, не зависящий от функций чувствительности. При этом любая из функций чувствительности независимо друг от друга выражается в интегральной форме через вектор новых переменных. Для определения последних приведена система линейных дифференциальных сопряженных уравнений той же размерности, что и вектор фазовых координат. Получена рекуррентная зависимость последовательного по времени вычисления значений функций чувствительности. Результаты иллюстрируются примером.

Р.П. Симоньянц. Динамика релейно-управляемого космического аппарата при действии гравитационного момента. – Поскольку рассматриваемая задача представляет большой практический интерес, её исследованию посвящено достаточно много работ. Обычно для упрощения анализа нелинейную функцию гравитационного момента линеаризуют. Однако в такой постановке невозможно корректно изучать динамику системы «в большом» – в переходных и ротационных режимах. Но и в линеаризованном варианте известные исследования, например работы Э.В. Гаушуса, ограничиваются рассмотрением простых предельных циклов. В представляемой работе применением методов пространства состояний и компьютерного моделирования исследуются плоские движения системы в нелинейной постановке. Выполнен анализ структуры фазовой поверхности с учётом нелинейных характеристик датчиков ориентации. Дано описание возможных видов переход-

ных режимов и установившихся состояний для типового закона релейного управления с линейным формированием управляющего сигнала. Определены условия существования простых предельных циклов, либрационных и ротационных режимов движения. На фазовой плоскости указаны соответствующие области притяжения. Показано, что при достаточно большой эффективности управляющего воздействия в системе могут устанавливаться сложные многоимпульсные предельные циклы. Выявлена зависимость энергетического параметра простых и сложных предельных циклов от уровня возмущающего воздействия. Обнаружен сверхсложный предельный цикл – странный аттрактор. Изучена структура бифуркационной диаграммы, содержащей критическую точку, которая отвечает странному аттрактору.

А.В. Коровайцев, Н.С. Коровайцева. К устранению противоречий использования концепции Эйлера в устойчивости. – При анализе устойчивости стержня постоянной жесткости с использованием концепции Эйлера применяют простейшее дифференциальное уравнение, в правой части которого имеем функцию изгибающего момента. Он возникает в стержне в результате потери устойчивости и соответствует равновесному состоянию, отличному от состояния сжатия. Функция момента определяется для каждой расчетной схемы конкретно, но всегда для деформированного равновесного состояния потерявшего устойчивость стержня. Граничные условия краевой задачи с дифференциальным уравнением также составляются для деформированного состояния. В то же время для многих расчетных схем функции момента, полученные после отказа от использования принципа неизменности начальных размеров при составлении уравнений равновесия, содержат дополнительные параметры. Обсуждаются связанные с этим дополнительные к известным противоречия использования уравнения в различных задачах. Для выхода из этих противоречий предлагается проиллюстрированный примерами алгоритм.

С.В. Аринчев. Дополнительные сверхнизкие собственные значения в задаче об упругих колебаниях управляемого летательного аппарата. – Рассматривается задача анализа динамических свойств управляемого летательного аппарата (ЛА) с идеальным интегрирующим звеном в контуре обратной связи. Интеграл вводится для повышения точности управления. Рассматриваются неконсервативные модели. Задача о колебаниях сводится к нелинейной задаче на собственные значения для действительной несимметричной матрицы. Решение найдено методом минимизации функционала на комплексной плоскости. Сначала в докладе рассматривается динамическая модель с двумя степенями свободы. Она содержит в контуре обратной связи интегри-

рующее звено второго порядка. Характеристическое уравнение задачи имеет 6-й порядок – в системе появляется дополнительный сверхнизкий паразитный тон колебаний. Соответствующее собственное значение может быть как угодно малым с уменьшением абсолютного значения коэффициента усиления обратной связи.

В докладе далее рассмотрены динамические свойства балочной упругой модели управляемого ЛА с идеальным интегрирующим звеном 1-го порядка в контуре обратной связи. Учитывается сверхзвуковое обтекание аппарата. Рассмотрена характерная эволюция дополнительных сверхнизких собственных значений задачи на комплексной плоскости. Показано, что паразитный тон колебаний может быть использован для подавления дивергенции упругого обтекаемого ЛА.

С.В. Аринчев, Д.А. Мецанкин. Интегрирование уравнений динамики раскрытия складного крыла. – Для обеспечения устойчивости движения летательного аппарата (ЛА) на стартовом участке траектории время раскрытия складного крыла должно быть минимальным. Происходит сложное пространственное движение упругой конструкции в условиях интенсивного вихреобразования в набегающем потоке. В докладе рассматривается связанная плоская нестационарная задача вихревой аэроупругости складного крыла. Принято, что крыло имеет две линии складывания и состоит из двух жестких панелей с упругими связями. Рассматривается плоское поперечное обтекание идеальным несжимаемым потоком. Аэродинамические нагрузки определяются методом дискретных вихрей. Точки схода вихрей заданы: это кромки крыла и линии складывания. Исследована возможность использования метода Рунге-Кутты. Сравнительный анализ эффективности методов Эйлера и Рунге-Кутты выполнен для тестовой задачи о плоском поперечном вихревом обтекании абсолютно жесткой пластины. Разработанный программный пакет использован для анализа в двумерной постановке динамики раскрытия крыла. Рассмотрены особенности процесса нестационарного вихреобразования в набегающем потоке.

Г.М. Тушева, Н.В. Борохова, Г.М. Максимов. К задаче параметрической оптимизации системы со случайными параметрами. – Оптимизация параметров механической системы формулируется как задача нелинейного программирования. Для описания её динамического поведения используется обыкновенное векторное нелинейное дифференциальное уравнение в форме Коши. Часть параметров системы и внешнего воздействия являются случайными с известными вероятностными характеристиками. Допускается, что нелинейные члены в уравнении движения не имеют особенностей. В такой постановке задачи параметры качества, определяющие целевой функционал и ограничения,

оказываются случайными. В роли целевого функционала и ограничений использованы квантили – верхние границы областей разбросов параметров качества при условии, что вероятности попадания в эти области заданы.

Параметры качества системы разлагаются в степенные ряды со случайными вариациями параметров до квадратичных членов включительно. Для вычисления функций чувствительности фазовых координат применяется матричный алгоритм, основанный на интегρο-степенных рядах. Такой способ решения экономичен по затратам машинного времени. На каждом шаге итерации квантили определяются методом Монте-Карло. Оптимизационная процедура осуществляется с помощью метода деформируемого многогранника Нельдера-Мида. В качестве примера решается задача минимизации хода системы амортизации упругого объекта, имеющего шесть степеней свободы. Внешнее ударное воздействие зависит от двух случайных параметров.

В.А. Грибков. О маятнике Челомея. – Маятник Челомея – нелинейная механическая система, описанная академиком В.Н. Челомеем и получившая позднее (1986 г.) его имя. Маятнику Челомея посвятили работы известные специалисты по нелинейной динамике механических систем И.И. Блехман, Дж. Томсон, С.В. Челомей и другие. Однако до настоящего времени получить адекватную математическую модель и объяснить наблюдаемый эффект не удалось. В докладе представляются результаты теоретических и экспериментальных исследований маятника Челомея. Эксперименты проводились на промышленно выпускаемых и специально созданных возбудителях вибрации. Выявлена неадекватность предложенных ранее математических моделей демонстраторам В.Н. Челомея. Оценены факторы, оказывающие влияние на реализацию наблюдаемого эффекта. Охарактеризованы основные наблюдаемые состояния маятника. Дана оценка выделяемых центробежных сил. Рассмотрены пять гипотез, объясняющих поведение маятника, из которых четыре оказались несостоятельными. Получена математическая модель, которая, по мнению автора доклада, адекватна объекту – демонстраторам В.Н. Челомея. Получены первые расчетные результаты, базирующиеся на новой математической модели, которые сравниваются с экспериментальными данными.

ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ И МЕНЕДЖМЕНТА

ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК

Заседание секции прошло под председательством *В.А. Бунака*. Обсуждались проблемы экономического развития и управления деятельностью промышленных предприятий оборонно-промышленного комплекса. На заключительном пленарном заседании итоги работы секции подвёл *В.С. Акопов*. Было высказано мнение, что диалог практиков и теоретиков при обсуждении проблем экономики и менеджмента представляет большую ценность. Представительство теоретиков желательно расширить. Что касается вопросов организации конференции и качества докладов – всё было, по мнению руководителей секции, на очень хорошем уровне.

Катрин Иванов-Тротиньон (Catherine Ivanov-Trotignon, Франция). Российско-французское сотрудничество в космической области. – Доклад представителя Национального Центра Космических Исследований Франции вызвал большой интерес. Отмечено, что российско-французскому сотрудничеству в космической области – 40 лет. 30 июня 1966 было подписано франко-советское Соглашение «Об исследовании и использовании космического пространства в мирных целях». Это сотрудничество осуществлялось в таких областях как астрофизика, метеорология, телекоммуникации, космическая медицина и биология, а также пилотируемые полеты. В 1996 году было подписано новое межправительственное франко-российское Соглашение. Оно предусматривает развитие кооперации двух стран в промышленной и коммерческой области. Космическое сотрудничество между Францией и Россией адаптировалось к новым политическим условиям и продолжает успешно развиваться. В настоящее время рассматриваются, подписаны или реализуются контракты по: многоазовым носителям, использованию МКС, экспериментам в условиях микрогравитации, дистанционному зондированию Земли, телекоммуникации и др.

Основным стратегическим направлением франко-российского сотрудничества являются ракеты-носители (проект «Союз в Гвиане» подписан 4 февраля 2004 года на Совете ЕКА). Также в настоящее время КНЕС в тесном сотрудничестве с Федеральным Космическим Агентством работает над идентификацией наиболее перспективных секторов для кооперации, среди которых Международная Космическая

Станция, исследование Вселенной, носители будущего. По этим направлениям создаются франко-российские рабочие группы.

В.И. Мартынов. Проблемы перехода к современным технологиям управленческой работы предприятий оборонно-промышленного комплекса. – НПО машиностроения, как и другие объединения и предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК) России, сейчас находится на непростом этапе реформирования и развития. Мы создаем новую вертикально интегрированную структуру, в которую войдут более десятка предприятий. Создание вертикально интегрированных структур требует применения адекватных технологий управления. В нынешних условиях оборонные предприятия вынуждены покупать на рынке ресурсы. Это – побудительный мотив заниматься совершенствованием технологии управления ими.

Главный ресурс в высоких технологиях – люди. Надо создать механизмы управления, нанимать уже обученную молодежь или способную обучиться необходимым управленческим и компьютеризированным технологиям. Нашим оборонным предприятиям необходимо научиться работать в условиях жесткой конкуренции на рынке труда. В прошлом адаптация молодого специалиста проходила два-три года. Сейчас мы себе этого позволить не можем. И тут не обойтись без перехода на новые технологии управления. Управление по процессам и есть возможный ответ на упомянутый вызов, и есть нужная нам технология управления. Управление по процессам – это, фактически, современный, куда более сложный аналог конвейера. Отсюда рост производительности труда, появление четких критериев его оценки, возможность контроля качества и т. п. Причем этой технологией охвачены не только рабочие, но и инженеры, ученые и управленцы. Только создав интегрированную холдинговую структуру, в которой будут не только рыночные, но и административные рычаги в управлении, предприятие сможет применить данную управленческую технологию. Поэтому мы сейчас находимся на этапе, который организационно привязан к созданию интегрированных структур.

В.А. Бунак. Совершенствование научно-технической и производственно-хозяйственной деятельности головного промышленного предприятия аэрокосмической отрасли. – Главным богатством России на длительную перспективу экономически устойчивого развития остается ее творческий интеллектуальный потенциал. Особое значение имеет его использование при разработке средств ракетно-космической техники (РКТ). Возможным перспективным решением может стать разделение аэрокосмической отрасли (АКО) на ряд крупных секторов с образованием интегрированных корпоративных объединений. На

первый план выдвигаются крупные конкурентоспособные корпорации нового типа. Главной целью создания корпоративных структур является объединение всех активов и ресурсов для повышения конкурентоспособности и эффективности производства, создания экспортного потенциала, привлечения инвестиций. Корпоративное управление строится на использовании приоритетных интересов участников и их роли в развитии корпорации. При этом научно-технические и производственные возможности предприятий оцениваются по ряду показателей: достижения в НИОКР; наличие конструктивно-технологического задела; производственные возможности и управленческий потенциал; маркетинговый потенциал и финансовые возможности.

Острые проблемные задачи в области структурно-экономических преобразований в оборонно-промышленном комплексе с образованием крупных интегрированных корпоративных структур предполагается решить в течение 10 – 12 лет. Стремление немедленно реформирования АКО сдерживаются отсутствием адекватного финансирования и нормативно-правовой базы, а также недостаточным уровнем разработанности научных основ, опыта корпоративных преобразований и уверенности в получении качественных желаемых результатов. При реконструкции АКО позицию ФГУП «НПО машиностроения», как головную компанию создаваемой корпорации отличают следующие особенности: 1. Репутация крупного высокотехнологического инновационного центра, лидера отечественного ОПК. 2. Самостоятельность в постановке и решении задач военно-технического развития и обеспечении безопасности страны. 3. Актуальность в выполнении научных исследований и опытно-конструкторских разработок. 4. Обеспечение внешнеэкономической деятельности при разработке образцов вооружения и военной техники. Формирование эффективной отраслевой модели корпоративного управления сегодня остается главным условием создания жизнеспособных интегрированных структур АКО, конкурентных в долгосрочной перспективе.

В.А. Бунак, А.Е. Григорьев. Формирование и реализация проектных решений на головном промышленном предприятии аэрокосмической отрасли (АКО). – Научно-теоретические исследования, предваряющие перспективное планирование и прогнозирование развития ракетно-космической техники (РКТ), должны быть направлены на решение таких методических вопросов, которые позволят повысить достоверность и уровень обоснованности принимаемых решений при реорганизации предприятия и установлении долгосрочной стратегии его развития. Должны быть установлены и количественно оценены целесообразные направления космической деятельности в части форми-

рования проектов и программ развития средств РКТ. При этом организуется стратегическое управление головным предприятием и кооперацией соисполнителей проектных разработок с учетом влияния внешней и внутренней среды.

Для решения этих и других перспективных задач развития средств РКТ ставится и решается комплексная задача разработки и использования форм и методов руководства головным предприятием АКО. Формирование целевых программ развития средств РКТ сопровождается установлением конечных целей по основным направлениям работ, объемам финансирования, порядка и сроков разработки и производства новой техники. При проектировании средств РКТ используются принципы интегрированного проектирования с разработкой технического и инвестиционного проектов. Основные трудности при этом предопределяются противоречиями между ограниченными ресурсами и резким ростом задач и требований к проведению целенаправленных исследований при разработке ракетно-космических комплексов и их составных частей.

Стратегическая концепция предпринимательской деятельности предприятия разрабатывается с учетом ее жизнеспособности и возможностей реализации. Главное внимание уделяется выбору и обоснованию стратегии с целью получения преимущества перед конкурентами за счет более низкого ценового уровня, уникальности, высокого качества, оригинальности и неповторимости предполагаемых разработок средств техники и оказываемых услуг, занятия свободной ниши на рынке с ориентацией на запросы потребителей. Долгосрочная концепция уточняется и дополняется с учетом перспектив ее разработки и реализации.

Н.К. Нестерова. Финансово-кредитная и бюджетная политика в развитии предприятия. – В процессе создания крупной вертикально интегрированной структуры Военно-промышленной корпорации «НПО машиностроения» необходимым и важным условием является координация финансово-кредитной и бюджетной политики. Взаимодействие предприятий в рамках корпорации организуется на базе централизации финансовых ресурсов в головной компании. При этом реализуется механизм целевого финансирования соответствующих научно-технических и производственных программ, проведение единой научно-технической, экономической и кадровой политики. На головном предприятии для повышения эффективности использования финансовых ресурсов и оптимизации бюджета проводится ряд мероприятий. В их числе: разработка планово-экономических показателей; совершенствование внутренней нормативной базы планирования работ в струк-

турных подразделениях предприятий; контроль реализации плановых параметров и расходования кредитных средств.

Для финансирования проектных работ по созданию перспективной космической системы дистанционного зондирования Земли между ФГУП «НПО машиностроения» и крупнейшим финансово-кредитным учреждением России – Среднерусским банком Сбербанка РФ были заключены инвестиционные кредитные соглашения сроком на 5 лет и 3,5 года на взаимовыгодных условиях. За годы сотрудничества предприятия и Сбербанка РФ был задействован практически весь арсенал финансово-кредитных инструментов.

Н.В. Собко. Корпоративное управление объединёнными предприятиями оборонно-промышленного комплекса России. – При создании крупной интегрированной структуры, объединяющей десятки предприятий, имеющей многотысячный коллектив работников, неизбежно возникает проблема формирования такой системы управления, которая учитывала бы разносторонние интересы владельцев-держателей акций, управляющих-менеджеров и наемного персонала. Головная компания осуществляет корпоративное управление деятельностью участников, входящих в объединение, что подразумевает: управление собственностью или пакетами акций; управление производственно-хозяйственной деятельностью, включая инвестиционную, технологическую, кадровую, сбытовую; управление финансовыми потоками. Участниками корпоративных отношений являются различные группы субъектов как внутри, так и вне объединения. Интересы субъектов могут не совпадать. Формы корпоративного управления могут быть организационными или правовыми. Управление в объединении осуществляется головной компанией. Степень централизации функций головной компании и детализации их исполнения зависит от специфики объединения, условий ведения бизнеса участниками, в том числе от их территориальной удаленности, от профиля деятельности и от функциональных взаимосвязей внутри.

Е.В. Соколов, Д.Ю. Сурков. Анализ движения денежных средств по видам деятельности организации. – Для достижения наилучшего эффекта хозяйственной деятельности и принятия оптимальных управленческих решений, руководству организации нужна постоянная осведомленность о состоянии денежных средств. Необходимы систематический анализ и детальная оценка денежных средств организации. В международной практике принято выделять денежные потоки по трем видам деятельности: текущей (производственно-коммерческой), инвестиционной и финансовой. Цель анализа денежных потоков – получение необходимого объема их параметров. Одно из главных направле-

ний анализа денежных потоков – обоснование степени достаточности формирования денежной массы. Рассмотрено пять этапов анализа. С помощью различных коэффициентов осуществляется моделирование факторных систем с целью выявления и количественного измерения резервов роста эффективности управления денежными потоками.

П.А. Дроговоз, О.В. Шалгинский. Организация мероприятий по повышению рыночной стоимости наукоёмких предприятий аэрокосмической отрасли. – Российский оборонно-промышленный комплекс (ОПК) играет роль стабилизирующего элемента в развитии экономики государства. Аэрокосмическая отрасль является одной из ведущих в отечественном ОПК, однако ее состояние отражает многие проблемы, характерные для всех предприятий российской «оборонки». В среднем оборудование используется 30 лет, в то время как в развитых странах Европы 7-8 лет. Решение проблемы представляется в ускорении формирования ядра российского ОПК. Интересен зарубежный опыт по консолидации предприятий аэрокосмической отрасли. Главным итогом оптимизации организационной структуры ОПК должно стать формирование мощных интегрированных предприятий, адаптированных к рыночной экономике. Но функционировать лишь за счет государственного заказа высокотехнологичный комплекс не может. В России инновационной деятельностью занимается лишь 6% предприятий, в западных странах – 60-80%. Результатом нехватки капитальных вложений и недостаточной инновационной деятельности является сокращение выпуска конкурентоспособной продукции. Эффективное решение задач интеграции наукоёмких предприятий ОПК представляется возможным на основе нового подхода к управлению, суть которого заключается в ориентации всех управленческих решений на повышение рыночной стоимости бизнеса.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

Заседание секции. под руководством *А.Н. Ходырева* прошло в здании администрации города Реутова – наукограда РФ. В организации работы секции приняли участие *А.В. Ильичёв, Л.А. Крылова, А.В. Бабалова, Ю.С. Козлов, В.С. Петровский, В.А. Грущанский, Ю.П. Григорьев, Н.А. Северцев.*

Тематика многих докладов была связана с решением задач программы развития города Реутова. В их числе задачи коммерческой реализации инновационных проектов. Некоторые доклады учёных и специалистов на секции, были опубликованы в муниципальном сборнике научных трудов. Ниже представлен аннотированный перечень докладов и проектов этой секции по тематическим разделам.

Общие вопросы развития города

В.Я. Любовный. Роль городов в инновационной стратегии России. – Анализируются перспективы экономического развития России во взаимодействии с созданием инновационной системы в среде малых и средних предприятий.

А.Н. Тетиор. Устойчивое строительство, архитектура и создание экосист в России. – В докладе отмечается необходимость многолетней комплексной программы устойчивого строительства и устойчивой архитектуры. В её основе должно лежать разнообразие устойчивых решений, учитывающих разнообразие ландшафтов, климата и проч.

В.Г. Баженов. Концепция определения здоровья и его показателей. – На заседании секции представлены результаты исследований, позволивших сформулировать представление о сути, путях и методах деятельности государства в области учёта, охраны и преумножения общественного здоровья.

А.И. Яковлев, А.В. Туманов и Н.А. Герасимов. Проблемные вопросы использования информационных технологий стратегических решений в бизнесе аэрокосмических систем. – Дан анализ тенденций развития ИКТ; концептуальные, методологические и методические особенности их использования при обосновании, принятии и реализации стратегических решений в бизнесе АКС. Рассматриваются вопросы оценки эффективности стратегических решений в бизнесе, новые технологии экспертных знаний и принятия решений. Выделены три основных класса стратегических решений: адаптивных, игровых и адаптивно-игровых.

Инновационные проекты аэрокосмических технологий

А.Е. Буравин, П.А. Широков и М.Г. Красногорский, ФГУП «НПО машиностроения»: Центр коммерциализации геоинформационных технологий. – Представлены новейшие разработки, положенные в основу оригинальных геоинформационных технологий. Проект ориентирован на обеспечение космической информацией, соответствующими технологиями ее обработки и применения ведомств, предприятий и организаций федерального значения, субъектов Федерации и коммерческих структур. Проект награжден серебряной медалью IV Московского международного салона инноваций и инвестиций.

С.Э.Зайцев, Д.В.Николашин, НПО машиностроения: Создание и коммерциализация перспективных спутниковых технологий. – В рамках проекта предусмотрена разработка, изготовление и отработка микроспутника, создаваемого на базе самых современных спутниковых технологий. Предполагается также создание инновационной научно-инженерной, производственной и маркетинговой инфраструктуры на базе научно-образовательного, проектного, производственного и маркетингового комплексов ФГУП «НПО машиностроения» и МГТУ им. Н.Э. Баумана. Первоочередными целями и задачами проекта являются работы по созданию микроспутниковой платформы.

Новые информационные технологии

В.И. Мартынов, НПО машиностроения. Доклад: Направления прикладной реализации в городах информационных технологий в контексте концепции «электронного правительства».

А.М. Елисеев и А.Г. Виноградов, НПО машиностроения. Доклад: Основные направления развития ситуационного моделирования. – Отмечено, что специалистами Центра ситуационного моделирования НПО машиностроения создана кооперация, способная решать новые сложные задачи. Возможно расширение диапазона применения технологии ситуационного моделирования на других предприятиях.

А.Б. Фролов. Доклад: Методы регистрации и оценки состояния информационной среды организма человека с помощью голографического феномена переднего участка глаза. Проект: Автоматизированная экспертиза качества медицинских помещений.

К.Ю. Лакунин и В.А. Варчак. Проект: Автоматизированная экспертиза качества медицинских помещений. – Проведённый авторами анализ показал, что для решения задач экспертизы наиболее эффективна автоматизированная технология как метод, интегрирующий в

себе различные механизмы исследования.

Проекты энергосберегающих технологий

А.В. Пронин и Н.В. Комаров, Закрытое акционерное общество (ЗАО) «Матричные технологии»: Тепловизионные ИК- технологии для диагностики объектов городского хозяйства. *В.В. Борячёк*, ЗАО «ЭЛМАШ»: Солнечные энергетические установки. *ФГУП «ОКБ Вымпел» В.А. Тимонин и В.А. Калинин*, ООО «Специнвтехника»: Комбинированные противокоррозионные и теплозащитные покрытия тепло-трасс. *Е.М. Зоркин*, ЗАО «ВЕМ»: «Электроприводы насосных агрегатов». *В.С. Романов*, реутовский Центр «Бизнес-развитие», представил серию проектов.

Проекты по направлениям жизнедеятельности

А.И. Дивеев, Вычислительный центр РАН. Проект: Управление транспортными потоками: алгоритмы, средства и организация. – Для решения поставленной задачи оптимального управления в сети городских дорог разработан специальный математический аппарат управляемых сетей и потоков. Построены специальные вычислительные процедуры на базе эволюционных генетических алгоритмов.

Л.С. Точилов и Е.С. Крылов, ФГУП «НПО машиностроения». Проект: Модель управления предоставлением сервисов населению на основе ИТIL. – Разработана процессная модель управления, использующая библиотеку информационных технологий ИТIL. Она представляет собой полную саморазвивающуюся модель, предусматривающую участие населения как потребителя сервисов.

Концепция развития муниципальной информационной системы города Реутова изложена в докладе *С.В. Светличной*. Инновационные процессы и социально-экономическое развитие города – тема доклада *А.Н. Цепляева*. На заседании обсуждался также ряд актуальных проектов: *Г.С. Салыхов*, МГТУ им Н.Э. Баумана – Продление сроков эксплуатации техники. *А.А. Галицын*, ООО «Новсистех» – Внедрение технологии широкополосной радиосвязи. *А.И. Вилков*, Фонд международной и национальной безопасности – Детский конструктор.

Исследования по развитию городов

Н.А. Северцев. Обобщённый подход к формализации системной безопасности. – В докладе автор сформулировал понятие системной

безопасности. Дано математическое описание системной безопасности как объекта многопараметрической оптимизации. С учётом деградации (старения) параметров получено уравнение, определяющее время безопасной работоспособности системы.

Ю.П. Григорьев. Инновационное производство в наукоградах. – В докладе рассмотрена структура и виды производств. Обсуждены проблемы инновационной интеллектуальной собственности и финансирования инновационных производств. В итоге сформулированы конкретные предложения.

А.В. Ильичев. Об управлении программой развития сложной социальной системой на основе парирования опасных факторов. – Рассматриваются основные проблемы построения операционной модели развития сложной социальной системы для управления её развитием на основе парирования прогнозируемых опасных факторов, проявляемых в процессе реализации программы.

В.А. Каиштанов. Математические модели оценки реализуемости проектов. – Разработана математическая модель, позволяющая построить алгоритм и провести вычислительный эксперимент для определения количественной зависимости целевого функционала от исходных параметров.

В.С. Петровский. Многоаспектное моделирование программы развития сложной социально-экономической системы. – На основе методов системного анализа и исследования операций изучаются вопросы, связанные с решением проблемы создания условий для устойчивого развития малого города.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Заседание секции под руководством *И.Б. Фёдорова* проходило 25 мая 2004 в зале заседаний Учёного совета МГТУ им. Н.Э. Баумана. Вёл заседание *Е.Г. Юдин*. В работе секции приняли участие профессора и преподаватели МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московского авиационного института, Люблянского университета (Словения), Национального инженерного бюро аэрокосмических исследований Тулузы (Франция), ведущие специалисты аэрокосмической промышленности – ФГУП «НПО машиностроения», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

Система подготовки инженеров для предприятий аэрокосмической отрасли

И.Б. Федоров, Р.П. Симоньянц. Новые технологии инженерного образования в современных условиях. – В докладе отмечается, что в области высшего профессионального образования особую актуальность приобретает вопрос о вовлечении молодых людей уже на стадии обучения в процесс научных исследований. Новые задачи, которые стоят перед инженерным образованием, могут быть успешно решены лишь при условии обеспечения инновационной деятельности вузов. Такие задачи посильны далеко не каждому вузу. Современному наукоемкому производству необходимы специалисты, обладающие, наряду с глубокими профессиональными знаниями, навыками коллективной творческой работы в условиях реальной проектной и исследовательской деятельности.

МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ФГУП «НПО машиностроения» разработали и внедрили такую интеграционную технологию подготовки специалистов, которая, развивая традиции русской школы инженерного образования, адаптирована к реальным условиям современного наукоемкого производства. Многолетний опыт работы Аэрокосмического факультета на территории НПО машиностроения подтвердил правильность выбора концептуальной основы разработанной технологии, её высокую эффективность. На факультете реализуются программы непрерывной научно-производственной практики, которые предоставляют студенту возможность на протяжении всего периода обучения участвовать в актуальных проектных и исследовательских работах предприятия. Такая система подготовки обеспечивает преемственность корпоративных традиций, обновление кадрового состава и

закрепление выпускников факультета на предприятии.

Трудно переоценить положительное влияние внедрения этой образовательной технологии. Принцип погружения студентов факультета в профессиональную среду творческого коллектива основных проектно-исследовательских подразделений осуществляется практически весь период обучения студента. Успех реализации этой прогрессивной технологии инженерного образования убедительно подтверждается многочисленными и яркими примерами.

Е.Г. Юдин. Практика как средство интеграции науки и образования. – В системе инженерного образования первостепенная роль принадлежит науке. Высокое качество подготовки специалиста может быть достигнуто только на основе интеграции научного и образовательного процессов. Практика и познание всегда выступают как две взаимосвязанные стороны единого процесса. Более ста лет МГТУ им. Н.Э. Баумана исповедует этот принцип, известный во всём мире как Русский метод обучения. На современном этапе реализация этого метода приобрела особо эффективные формы. В университете созданы и успешно функционируют пять факультетов при крупных научно-промышленных предприятиях. Мы их называем отраслевыми. Учебный процесс здесь буквально внедрён в научно-производственную деятельность предприятия. Учебная и научно-производственная деятельность студентов неразрывна. Студенты вместе с преподавателями и специалистами предприятия решают практические задачи, непрерывно совершенствуя свои знания и создавая новые знания. Связь эта осуществляется через непрерывную научно-производственную практику. По сути, это целевая подготовка специалистов. Однако существующая нормативно-правовая база существенно затрудняет деятельность отраслевых факультетов. То же можно сказать и о филиалах кафедр на промышленных предприятиях. Тем не менее, отраслевые факультеты и филиалы кафедр востребованы, существуют и дают промышленности отлично подготовленных специалистов. Судя по отзывам предприятий, они довольны нашими выпускниками. А это – главный критерий качества нашей работы.

В.В. Зеленцов. Современное состояние системы подготовки инженеров в МГТУ им. Н.Э. Баумана для предприятий аэрокосмической отрасли. – Вся история ракетно-космической техники неразрывно связана с Бауманским университетом. Университет активно сотрудничает с ведущими предприятиями аэрокосмической отрасли как в вопросах подготовки инженерных и научных кадров, так и в решении актуальных научно-технических проблем. В доперестроечные времена и предприятия эффективно поддерживали Университет, оснащая учеб-

ные лаборатории самым современным, уникальным оборудованием, заключая с кафедрами договора на выполнение научных исследований и опытно-конструкторских разработок. Промышленность стимулировала вузы и дополнительным финансированием, особенно по тем специальностям, которые были наиболее востребованы. Действовало хорошо понятное правило: кто заказывает специалистов, тот и вкладывает средства в образование. Вот пример. Только в этом году завершилось строительство учебно-лабораторного корпуса, которое в своё время было полностью профинансировано оборонно-промышленным комплексом. Правда, перестройка помешала осуществлению плана, и стройка на долгие годы была заморожена. Была ещё одна мощная опора у промышленности – система государственного распределения молодых специалистов.

В перестроечное время, как инженерное образование, так и аэрокосмический комплекс оказались в крайне тяжелом состоянии. Резкое сокращение финансирования привело к практическому закрытию большинства проектов и НИР на предприятиях и в вузах. Уровень зарплаты упал. Отменена система распределения выпускников вузов. На предприятиях и на кафедрах остались, в основном, работники пожилого возраста. Обострилась проблема сохранения кадрового потенциала промышленности, способного решать сложные задачи оборонно-промышленного комплекса. Возникла проблема модернизации системы подготовки инженерных кадров. МГТУ им. Н.Э.Баумана был подготовлен к ударам перестройки. Сеть филиалов кафедр на крупных промышленных предприятиях позволила не только сохранить традиционные связи с промышленностью, но и готовить инженеров, хорошо адаптированных к реальным условиям работы на предприятиях.

В 1987 году было создано 5 факультетов МГТУ им. Н.Э. Баумана в крупных Научно-производственных объединениях промышленности, где мы совместно готовим специалистов для этих предприятий. Была разработана специальная система программно-целевой подготовки, предусматривающая непрерывную научно-производственную практику студентов в подразделениях предприятия. Как показал многолетний опыт, такая система подготовки полностью оправдала наши ожидания.

В.В. Зеленцов, Ю.А.Цуриков, Б.Б. Петрикевич, В.И. Усюкин. Концепция профессионального образования для аэрокосмического комплекса. – В современных условиях чрезвычайно актуальна проблема формирования перспективных концепций профессионального образования для аэрокосмического комплекса. В числе наиболее перспективных концепций следует рассматривать концепцию непрерывного

профессионального образования. Её реализация проводится в настоящее время в филиале НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана в ГКНПЦ им. М.В.Хруничева. Филиал охватывает три направления деятельности: довузовская подготовка в профильной школе № 72 под патронажем Центра; вузовское образование – интегрированная целевая подготовка студентов совместно с ведущими специалистами Центра; послевузовское образование – на базе аспирантуры Центра. При этом, может применяться и контрактная форма подготовки. Возможны две модификации контрактов: или на старших курсах обучения, или сквозной контракт на весь период обучения, начиная с профильной школы.

Е.Г. Куранов О непрерывной научно-производственной практике студентов Аэрокосмического факультета. – На Аэрокосмическом факультете МГТУ им. Н.Э.Баумана при ФГУП «НПО машиностроения» реализуется особая форма подготовки инженеров, предусматривающая непрерывную научно-производственную практику студентов (ННПП). Это та форма подготовки, которую мы считаем оптимальной. Она позволяет нам готовить специалистов, которые уже сейчас самостоятельно решают проблемы подразделений. Оптимальным образом и учебный процесс ведется, и практическая задача решается. Студент приходит на рабочее место и сразу выполняет производственное задание, без серьезного наставничества. Нам нужен специалист, который был бы знаком и с разнообразными задачами и разными формами их решения. Это обусловлено тем, что ему на предприятии придётся иметь дело и со смежными подразделениями, и с другими предприятиями, придется оформлять техническую документацию. И вся практика направлена на это.

ННПП – это инновационные практические занятия, которые ведут специалисты самого разного профиля. Стараемся познакомить студентов со всеми направлениями нашей деятельности. Особенность факультета такова, что он готовит многопрофильных специалистов. И предприятие тоже использует этих студентов многопрофильно. Ясно, что головная организация, которая объединяет разнообразные структуры, занимающиеся практически всеми этапами создания ракетной и космической техники, всеми направлениями работ, всеми системами, может дать студенту любую задачу. Но при этом мы должны учитывать специальность, по которой университет готовит студента. Сложность организации этого процесса очевидна. Но, с другой стороны, студенты имеют возможность выбора направления деятельности в самом широком диапазоне научных и технических проблем.

Конечно, практические занятия со специалистами нашего предприятия проводятся не только на рабочих местах, но и в лабораториях,

и в аудиториях факультета. Практические занятия (работы) которые выполняются на рабочем месте, могут проходить в двух формах: студент либо устраивается на работу по совместительству, либо является стажёром. Стажёром он работает совместно со специалистами подразделения и выполняет задания на бесплатной основе.

Е.Г. Юдин, К.Е. Демихов, В.Н. Герди. Подготовка специалистов на Приборостроительном отраслевом факультете МГТУ им. Н.Э. Баумана. – История развития науки убедительно показывает, что университеты всегда были центрами высокого научного знания, сочетая исследовательские и образовательные функции. Однако процесс перестройки негативно отразился на положении вузов. При этом имеющийся потенциал ученых используется слабо. А это более 5 тысяч докторов и 45 тысяч кандидатов наук, которые работают сегодня в технических университетах. Причина такого положения – малые объемы контрактных работ вузов с промышленностью.

В этих условиях полезный опыт приобрёл Приборостроительный отраслевой факультет МГТУ. С 1987 года факультет осуществляет целевую подготовку инженеров для базовых предприятий ФГУП «НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова» и Московского завода электромеханической аппаратуры. Формирование групп по специальностям подготовки здесь осуществляется с 3 курса. При этом практически все студенты оформляются в штат предприятия с оплатой труда. Большое внимание уделяется научно- исследовательской работе студентов, которая включается в учебный план подготовки. В исследовательскую работу наряду со студентами вовлекаются и преподаватели университета. Совместно со специалистами предприятия они успешно решают различные научно-технические задачи.

А.В. Хромушкин, Е.Г. Куранов, Р.П. Симоньянц. Дипломное проектирование в НПО машиностроения. – Непрерывная научно-производственная практика студентов Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана при НПО машиностроения позволяет длительное время в период обучения адаптировать будущего специалиста к реальным условиям инженерной деятельности, к реальным производственным проблемам предприятия. На 4 и 5 курсах мы стремимся обеспечить такой режим работы или стажировки студента, при котором он мог бы выполнять по реальной тематике курсовые работы и проекты. Это требует специальных усилий сотрудников подразделения: необходимо изучить требования соответствующей кафедры, понять теоретическую базу учебной работы и подобрать для её успешного выполнения необходимые рабочие материалы. Важно обеспечить «сквозной» характер самостоятельных учебных работ студента по про-

грамме изучаемых дисциплин, т.е. реализовать тематическую преемственность этих работ. Тогда к моменту выполнения дипломного проекта у студента накопится солидный багаж практических наработок.

Студент имеет возможность получить задание на выполнение дипломного проекта уже на 5 курсе, т.е. на год раньше положенного срока. Часто это бывает еще раньше. Опыт показывает: чем раньше, тем, в конечном итоге, выше качество. Разрабатываемая тематика дипломных проектов проходит многостороннее согласование между подразделениями предприятия и кафедрами университета. Однако, не всегда специалистам подразделений и преподавателям кафедр удаётся оптимально решить эту нелёгкую задачу, требующую кропотливой и последовательной работы в течение нескольких лет. Коллективный дипломный проект – одна из эффективных форм практики на заключительном этапе программно-целевой подготовки. Группа студентов совместно выполняет сложную проектно-исследовательскую работу. Тут часто возникают проблемы с тематикой и характером работ. Они не всегда укладываются в рамки требований дипломного проекта. Но мы и здесь находим понимание на кафедрах, выходим из этого положения. И все такие дипломы успешно защищаются.

А.В. Хромушкин, Ю.И. Минаев, Е.Г. Куранов. Программно-целевая подготовка специалистов и кадровая политика предприятия. – Кадровая политика ФГУП «НПО машиностроения» направлена на улучшение качественного и количественного состава коллектива. Решается задача планового пополнения штата выпускниками вузов и реализации комплекса мер, содействующих закреплению специалистов. Принята молодежная программа, которая решает такие жизненно важные вопросы, как: освобождение от призыва на военную службу, профессиональное обучение, переподготовка, жилищный вопрос, оплата труда и др. Одна из приоритетных задач – поддержка деятельности Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана при НПО машиностроения. Кадровая служба содействует распределению студентов по рабочим местам для прохождения стажировки и работы по совместительству. Лучшим студентам факультета назначаются 13 именных стипендий Генерального конструктора.

Система программно-целевой подготовки, реализуемая на Аэрокосмическом факультете, наиболее гибко удовлетворяет быстро меняющимся требованиям предприятия. О высокой эффективности реализуемой системы свидетельствует тот факт, что подавляющее большинство инженеров предприятия в возрасте до 35 лет получили образование на Аэрокосмическом факультете. Это обстоятельство имеет чрезвычайно большое значение, поскольку средний возраст научно-

инженерных кадров предприятий отрасли приближается к пенсионному возрасту. Выпускники факультета успешно трудятся в основных научных и проектных подразделениях предприятия, быстро продвигаясь по служебной лестнице. Многие из них уже через 2-3 года выдвигаются на руководящие должности, некоторые продолжают обучение в аспирантуре. По состоянию на 15.04.2004 в числе сотрудников предприятия в возрасте до 35 лет выпускников Аэрокосмического факультета 62%. Не менее 20% общего числа выпускников (за всё время существования факультета) работают на предприятии. Кроме того, не менее 30% студентов факультета также участвует в работе подразделений предприятия на условиях совместительства.

Методические вопросы инженерного образования

Н.Г. Багдасарьян, А.А. Немцов. Студент 2000-х: мотивы и ожидания. – Исследования, ведущиеся в МГТУ с 1987 года, показали, что образование не является терминальной или целевой жизненной ценностью для подавляющего большинства россиян, оно не самоценно как идеал саморазвития личности. Преобладает отношение к нему как к инструментальной ценности, общественно значимому способу достижения других важных социальных и индивидуальных целей. Следовательно, доминируют не интеллектуально-духовные и социально-профессиональные, а социально-материальные и социально-этические мотивы и установки. Рассматриваются корреляции мотивов студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана к обучению с их ценностными ориентациями. Результаты исследования могут быть использованы всеми участниками учебно-воспитательного процесса в Университете.

А.В. Коровайцев, Е.А. Коровайцева. Использование структурных подходов в курсе сопротивления материалов. – Показаны простейшие структурные аналогии основных расчетных формул и понятий. Изучаются методики решения задач сопротивления материалов. Предлагается новый подход и его реализация, которые не отрицают необходимость рассмотрения оригинальных задач по типу известных задач В.И. Феодосьева и Я.Г. Пановко, но не выдвигают индивидуальные способы их решения как методический путь. Приводится табличная форма, иллюстрирующая аналогии расчетных формул элементарных напряженно-деформированных состояний прямого бруса: растяжения-сжатия, сдвига, кручения и прямого поперечного изгиба. Подчеркивается обоснованность одновременного обучения всем указанным разделам курса. Вводятся всего четыре расчетных зависимости для статически определимого прямого бруса, записываемые в мнемонической

форме. Для решения дифференциальных уравнений в составе этих формул предлагается использовать единственный метод решения: метод начальных параметров. На основании предлагаемой технологии разработан ряд алгоритмов обучения начальным разделам курса, апробированных ранее в комплексной методической работе пяти ведущих вузов Москвы: МАИ, МАТИ, МГТУ, МИИТ, МИСИ. Обсуждаются особенности использованных компьютерных оболочек и предлагаются современные их формы.

М.Ф. Меньев. Информационная компонента в системе подготовки инженеров-менеджеров. – Показаны результаты работы факультета «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н. Э. Баумана по применению информационных технологий (ИТ) при подготовке инженеров-менеджеров для наукоемкого производства. Выделяется два направления обучения: общее по применению организационно-экономических ИТ и специальное, формирующие умения применять ИТ в области наукоемкого менеджмента. При разработке концепции специального обучения особое значение уделено принципу соответствия между знаниями и умениями специалиста. Выделено шесть уровней подготовки и кратко сформулировано содержание каждого из них. Обучение поддерживается учебным курсом «Информационные ресурсы в менеджменте». Изучается ряд дополнительных дисциплин, включая такие учебные курсы, как «Защита информации», «Автоматизированные системы управления», «Патентная информация» и другие. В процессе реализации разработанной концепции обучения были сформированы необходимые программы учебных курсов, созданы учебно-методические материалы в форме учебных пособий, методических рекомендаций и компьютерных изданий, размещенных на сайте факультета ИБМ МГТУ им. Н.Э.Баумана: ibm.bmstu.ru.

Е.В. Галямова, В.В. Сюзев. О преподавании курса «Периферийные устройства вычислительных систем и сетей» на Аэрокосмическом факультете с учетом специфики направления деятельности будущих инженеров. – В докладе отмечается, что кафедра «Компьютерные системы и сети» МГТУ им. Н.Э. Баумана с чувством высокой ответственности ведет подготовку студентов Аэрокосмического факультета для ФГУП «НПО машиностроения». Высоко оценивается роль предприятия, готовящего свои собственные высококвалифицированные кадры, которые ежегодно вливаются в ряды кадровых сотрудников, поддерживая и развивая научно-инженерную школу академика В.Н. Челомея.

В докладе рассмотрены разделы учебных программ, внутри которых возможно углубленное рассмотрение материала применительно к специфике Аэрокосмического факультета. В частности, обсуждаются

программы изучения современных математических методов распознавания образов, методов сжатия данных, алгоритмов помехоустойчивого кодирования и аппаратных решений при реализации этих алгоритмов. Уделено также внимание необходимости подкрепления курса новыми лабораторными работами, которые могут отражать как аппаратную часть периферийных устройств, так и программные решения. В этой связи отмечено участие самих студентов при подготовке новых лабораторных работ. Так в течение 2002-2004 учебных годов студенты освоили плату 24-х разрядного аналого-цифрового преобразователя, позволяющую анализировать точность преобразования подаваемого на вход компьютера аналогового сигнала. В докладе высоко оценивается работа компьютерного класса Аэрокосмического факультета, в котором есть возможность изучать соответствующие тематике курса современные алгоритмы и методы ввода-вывода речевой информации.

А.Ю. Пашутина. О повышении эффективности преподавания иностранного языка. – В докладе обсуждаются предложения, направленные на повышение эффективности использования времени аудиторных и самостоятельных часов работы студентов. Определены наиболее значительные проблемы в области языковой подготовки студентов. Раскрыто содержание эксперимента, проводимого с 1998 г. на Аэрокосмическом факультете МГТУ им. Н.Э.Баумана с целью изучения возможных путей преодоления проблем. Эксперимент предусматривал следующее: - Использование наиболее совершенных из современных обучающих программ (в том числе мультимедийных). – Разделение групп по уровням языковой компетенции (на основе входного тестирования) и дальнейшее описание индивидуальных рекомендательных стратегий для коррекции и совершенствования имеющихся знаний. – Внедрение многоуровневой системы мотиваций. – Выработка единых требований к знаниям студентов. – Совершенствование контроля самостоятельной работы студентов. – Привлечение специалистов к консультациям студентов на иностранном языке по профилирующим дисциплинам. Такая форма занятий целесообразна в рамках непрерывной научно-производственной практики, реализуемой на факультетах при базовых предприятиях.

А.А. Дорофеев. Диалектика проектирования учебной литературы по дисциплинам специальности технического университета. – Системно рассматриваются вопросы проектирования учебника. Диалектическое проектирование представляется как инновационно-творческий процесс выработки нового его содержания. Концепция проектирования верифицирована на примере создания учебников московской и казанской школами подготовки инженеров по тепловым ракетным дви-

гателям и реализована при выпуске учебного пособия и учебника. Анализируются дидактические характеристики этих изданий и учебно-методические рекомендации по их использованию

О системе инженерного образования Европы

I.Emri (Словения). Европейская магистратура в области инженерной реологии. – В настоящее время в странах Европы создаётся единая система университетского образования. Национальные образовательные системы изменяются так, что студенты университетов одной страны могут свободно переходить в университеты других стран. Создание единого образовательного пространства позволяет формировать межуниверситетские научно-образовательные объединения для получения высокого уровня знаний и квалификации по актуальным направлениям науки и техники. Рассмотрен пример такого научно-образовательного объединения: Европейская магистратура в области инженерной реологии – «EURHTO» (European Masters in Engineering Rheology).

Инженер реолог – это специалист по реологии, решающий инженерные проблемы в области производства полимеров, разработки полимерных технологий, конструирования с применением неметаллических материалов, и многих других технологий. Современную интегрированную междисциплинарную образовательную программу в области реологии совместно разработали 14 университетов стран старой Европы, включая Люблянский университет Словении. Программа обучения предусматривает приобретение необходимых знаний путем решения реальных инженерных проблем как самостоятельно, так и в междисциплинарных исследовательских рабочих группах.

Студент занимается исследовательской работой не менее чем в трех университетах трех европейских стран. После окончания учебы студент получает два диплома: один в своем, базовом университете и второй в одном из университетов, где он проходил определенную часть обучения. Программа EURHTO объединяет знания и опыт ведущих европейских университетов в области реологии, она получила поддержку со стороны Европейского общества реологии – ESR (European Society of Rheology).

Прения по докладу I.Emri

– *В.В. Зеленцов*: В чём смысл обучения в трёх университетах, в трёх странах?

– *I.Emri*: Очень важный вопрос с точки зрения философии. Инженеру понимать теорию необходимо, но не достаточно. Инженерные науки тесно связаны с экономикой. Если ты работаешь над прикладными проблемами, то очень важно общение с коллегами. Я хорошо знаком с американской школой инженерного образования – учился, а теперь преподаю в Калифорнийском Технологическом Университете. Это один из самых лучших университетов. Там работают 30 Нобелевских лауреатов. Могу сказать, что в этом университете большой отсев студентов. Это объясняется тем, что американские школы (до университета) не очень хорошо учат. Но Университет отбирает самых лучших студентов и ведёт их дальше так, что, оканчивая обучение, они могут научную идею довести до конечного продукта, практически до рынка. При этом в процессе обучения студенты переходят из одного университета в другой. В Америке, если ты окончил один университет, тебя не возьмут на работу. Ты должен окончить 3 университета, должен менять наставников.

– *Ю.А. Цуриков*: Видимо, эта проблема актуальна для малых университетов?

– *I.Emri*: Конечно. Или для малых стран, как Словения. У нас всего два университета.

– *В.В. Зеленцов*: Я к этому добавлю только, что реализовать такую систему можно и в своей стране. В России, например, – в МГТУ, в Физтехе и в МАИ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДОКЛАДЫ ПЕРВОЙ МНТК-2004

УДК 621.453/.457

Ю.С.Архипов, Ю.А.Бешенев, С.А.Булдашев,
Ф.А.Казанкин, К.П.Кулябин, Р.Х.Кутуев,
Е.Г.Ларин, Е.В.Леденева, Л.А.Потабачный

СОСТОЯНИЕ РАБОТ НИИМАШ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Изложены основные результаты НИОКР НИИ Машиностроения в обеспечение создания реактивных двигателей малой тяги (РДМТ) и двигательных установок (ДУ) на их основе для современных и перспективных космических программ.

1. Введение. Собственные опытно-конструкторские работы по созданию ракетных двигателей малой тяги (РДМТ) НИИ Машиностроения (НИИМаш) начал в 1969 году. 19 апреля 1971 года первая в мире орбитальная станция «Салют» с 32 двигателями НИИМаш на борту была выведена в космос. В 70-х годах применительно к орбитальному космическому аппарату (КА) 11Ф668 по техническим заданиям НПО машиностроения в НИИМаш были разработаны двигатели управления 11Д458, 11Д459 и 17Д58 тягой 400, 200 и 12 $\kappa\Gamma c$ соответственно.

Разработанные в НИИМаш двигатели при более высоком по тем временам уровне экономичности, особенно на импульсном режиме, не имели ограничений работы при любом сочетании команд и пауз во всем рабочем диапазоне входных давлений и температуры конструкции и компонентов топлива. Средняя величина удельного импульса тяги (при длительности управляющей команды 0,1с) имела значение $\sim 200 \kappa\Gamma c/кг$. Одним из существенных отличий разработанных двигателей по отношению к аналогам [1] было значительное снижение массы. Эти преимущества были обеспечены рядом особенностей их конструкции.

2. Особенности конструкции. Для подачи компонентов топлива в смесительную головку в двигателях были применены электромаг-

нитные клапаны с «мягким» уплотнением «фторопласт по металлу». Это решение позволило в значительной степени улучшить габаритно-массовые и динамические характеристики клапанов и уменьшить за- клапанные объемы смесительной головки, что в свою очередь улуч- шило динамические характеристики двигателя в целом. В смеситель- ной головке применена соосная струйно-центробежная двухкомпо- нентная форсунка, которая при среднем удельном импульсе тяги дви- гателя $252 \text{ кГс}\cdot\text{с}/\text{кг}$ позволила организовать рабочий процесс в камере, выполненной из нержавеющей стали, обеспечивающий приемлемый тепловой режим при всех условиях эксплуатации КА.

Для поддержания теплового режима смесительной головки при неработающих двигателях в их состав вводят электронагреватели и каналы для циркуляции теплоносителя жидкостной системы терморе- гулирования космического аппарата. При этом для поддержания тре- буемого теплового режима достаточно было любого из этих элемен- тов. В дальнейшем эти решения нашли свое применение и развитие на всех современных и перспективных двигателях разработки НИИ Ма- шиностроения. К началу 90-х годов был разработан ряд двигателей с уровнем тяги от $0,08 \text{ кГс}$ до 200 кГс и комплекс агрегатов двигатель- ных систем для широкого спектра космических аппаратов.

3. Принципы интеграции. Скачок в развитии космического приборостроения на рубеже 80-х и 90-х годов поставил перед разра- ботчиками двигательных систем задачу по совершенствованию их ха- рактеристик, т.к. они стали лимитирующим звеном при создании кос- мических аппаратов нового поколения, особенно для малых космиче- ских аппаратов. Применительно к аппаратам этого класса с 1989 года в НИИмаш были начаты работы по формированию направлений иссле- дований на принципах конструкторской и функциональной интегра- ции при создании агрегатов, систем и ДУ в целом с качественно новым уровнем характеристик. Работы ведутся по направлениям: - повыше- ние технического уровня РДМТ; - разработка компоновочных схем ДУ модульного типа; - совершенствование системы хранения и подачи то- плива.

Первым модернизированным двигателем на базе традиционных технологий и конструкций был двигатель тягой $13,5 \text{ кГс}$, использо- вавшийся в кораблях «Союз-Т» и «Прогресс», а также на долговре- менных орбитальных станциях «Салют». Использование жаропрочного ниобиевого сплава с дисилицидмолибденовым жаростойким покры- тием в качестве материала камеры сгорания и сопла двигателя, а также оптимизация схемы организации рабочего процесса в камере позволи- ли повысить удельный импульс тяги двигателя с $250 \text{ кГс}\cdot\text{с}/\text{кг}$ до 290

кгс·с/кг. Этот двигатель работает сейчас на борту служебного модуля «Звезда» МКС, им комплектуются все корабли «Союз» и «Прогресс», доставляющие на МКС экипажи и грузы.

К настоящему времени в НИИМаш проведены опытные работы по созданию РДМТ с величиной номинальной тяги 40 кгс. В результате работ получены опытные образцы двигателей, обеспечивающие удельный импульс тяги 300 ± 5 кгс·с/кг при удовлетворительном тепловом состоянии (температура камеры не превышает 1250°C при допустимой температуре конструкции 1350°C , установленной из условия надежности двигателя) во всем эксплуатационном диапазоне. Лучшие образцы опытных двигателей обеспечивают получение величины удельного импульса тяги 308...312 кгс·с/кг. В режиме одиночных включений при длительности команды на включение 0,05 с удельный импульс тяги двигателей достигает значения 270 кгс·с/кг. Требуемый диапазон стабилизации тяги обеспечивается в диапазоне входных давлений компонентов топлива от 11 до 22 кгс/см².

Общий вид двигателя тягой 40 кгс представлен на рис.1. Камера сгорания с соплом изготавливается из жаропрочного ниобиевого сплава с дисилицидмолибденовым покрытием.

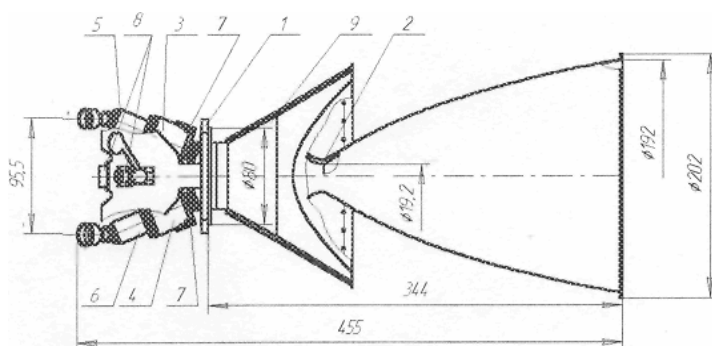


Рис. 1. Двигатель РДМТ400А. 1 - смесительная головка; 2 - камера сгорания с соплом; 3 - клапан горючего; 4 - клапан окислителя; 5 - стабилизатор расхода горючего; 6 - стабилизатор расхода окислителя; 7 - электронагреватели; 8 - электрические кабели с соединениями; 9 - теплоизоляционный экран камеры сгорания

Двигатель оснащен электроклапанами по трактам окислителя и горючего. Они разработаны на базе решений-аналогов НИИМаш. Основным отличием этих электроклапанов от серийно-изготавливаемых является уменьшенный перепад давления при заданном расходе компонентов топлива. На входе в каждый электроклапан устанавливается

стабилизатор расхода компонента топлива, который обеспечивает стабильность тяги и приемлемый тепловой режим двигателя в широком диапазоне входных давлений компонентов топлива, в том числе и при значительной разности последних. Камера сгорания и сопло от головки двигателя до критического сечения и начальная часть сверхзвуковой части сопла закрыты теплоизоляционным экраном для защиты узлов и агрегатов космического аппарата, головки, а также фланца крепления двигателя от теплового излучения.

На рис. 2, 3 приведены зависимости тяги и удельного импульса тяги двигателей РДМТ400А №№ 2, 4, 5, полученные при испытаниях в высотных условиях.

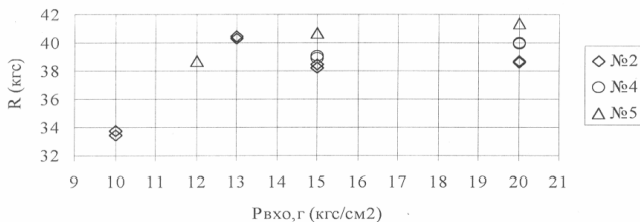


Рис. 2. РДМТ400А №2,4,5. Изменение тяги от давления топлива на входе в двигатель (давления окислителя и горючего равны)

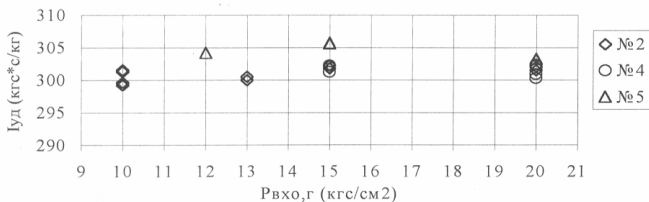


Рис. 3. РДМТ400А №2,4,5. Изменение удельного импульса тяги от давления топлива на входе в двигатель (давления окислителя и горючего равны)

Температура конструкции при импульсных режимах работы существенно ниже температуры при непрерывных режимах работы. Экономичность двигателей в импульсном режиме работы при различных длительностях команды на включение и при номинальном давлении компонентов топлива представлена на графике рис. 4. Применение стабилизаторов расхода позволяет создавать двигательные установки без использования редукторов давления. Достигается это за счет сту-

пенчатого подсоединения в систему наддува топлива шар-баллонов с газом высокого давления.



Рис. 4. Двигатели РДМТ 400А №№ 2,3,5. Зависимость удельного импульса тяги от длительности команды на включение при длительности паузы 10 с

Это увеличивает ресурс работы двигателей, поскольку работа двигателя происходит постоянно на оптимальном режиме, дает существенную экономию материальных средств за счет сокращения объема доводочных испытаний. Изменение входных давлений топлива в широком диапазоне и изменение разности давлений окислителя и горючего практически не приводит к изменению режима работы двигателя и его запас работоспособности определяется, по существу, на одном режиме.

4. РДМТ параметрического ряда. В НИИМаш ведутся работы по совершенствованию РДМТ параметрического ряда. В частности, работы по улучшению параметров двигателя с номинальной тягой 20 $\kappa\Gamma$. Характеристика удельного импульса тяги лучшего из них представлена на рис. 5.

Важно, что максимальное значение удельного импульса тяги реализуется при минимальном значении давления компонентов топлива. Из чего следует, что при установке стабилизаторов расхода окислителя и горючего, обеспечивающих номинальные расходы двигателя тягой 20 $\kappa\Gamma$, можно обеспечить стабильность тяги при относительно высоком удельном импульсе тяги 307...308 $\kappa\Gamma\cdot\text{с}/\text{кг}$ в широком диапазоне входных давлений топлива, начиная с давления 12,5 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. Верхнее значение перепада давления на стабилизаторах, при котором обеспечивается номинальный расход, в принципе не ограничено. Практически номинальный расход поддерживается стабилизаторами расхода при максимальном перепаде давления до 25 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ и более (подтверждено экспериментально, в т.ч. и летной эксплуатацией двигателей-аналогов).

Тенденция к снижению массы КА повышает уровень требова-

ний к эффективности выполнения коррекции орбиты, что может быть

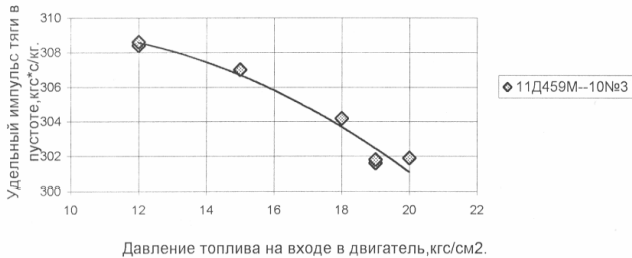


Рис. 5. Зависимость удельного импульса тяги от давления топлива

обеспечено применением РДМТ с уровнем тяги $0,3 \text{ кгс}$ и менее. При этом предъявляются высокие требования к динамическим характеристикам и уровню удельного импульса тяги. Повышаются требования к точности дозировки управляющих импульсов тяги. Минимизируются затраты топлива.

В НИИмаш был изготовлен экспериментальный двигатель тягой $0,3 \text{ кгс}$. При проведении демонстрационных испытаний получены изложенные ниже результаты. Подтверждена работоспособность схемы смесеобразования на основе подачи компонентов топлива в виде струй, распыляемых на кромке кольцевого дефлектора. При давлении КТ на входе в двигатель 15 кгс/см^2 $J_{\text{уд}} \approx 271 \pm 2,3 \text{ кгс}\cdot\text{с/кг}$. В диапазоне $P_{\text{вх}} = 12 \dots 20 \text{ кгс/см}^2$ величина $J_{\text{уд}} \approx 249 \dots 294 \text{ кгс}\cdot\text{с/кг}$ и достигает $\approx 305 \text{ кгс}\cdot\text{с/кг}$ при давлении 24 кгс/см^2 . Прогнозируется возможность достижения величины $J_{\text{уд}} \approx 290 \dots 295 \text{ кгс}\cdot\text{с/кг}$ при $P_{\text{вх}} = 15 \text{ кгс/см}^2$.

В экспериментальном двигателе применен быстродействующий ЭК собственной разработки и минимизированы заклапанные объемы смесительной головки. Время открытия и закрытия ЭК при номинальных входных условиях составляет не более $0,001 \text{ с}$, а при изменении входных условий во всем эксплуатационном диапазоне - не более $0,0015 \text{ с}$. Суммарная величина заклапанных объемов составляет не более 10 мм^3 .

Применение этих технических решений позволило добиться следующих результатов. 1. На порядок сократилось время переходных процессов и его разброс из-за влияния входных условий при запуске и останове двигателя по сравнению с аналогичными параметрами серийного двигателя тягой $1,3 \text{ кгс}$. 2. Повысилась стабильность динамических характеристик. 3. Увеличился диапазон регулирования величины импульса тяги. 4. Подтвердилось удовлетворительное тепловое состояние камеры сгорания.

Результаты испытаний приведены на графиках рис. 6. При испытаниях максимальная температура камеры сгорания в зоне минимального сечения сопла составила 1270°C , на смесительной головке - 50°C , на фланце двигателя - 70°C .

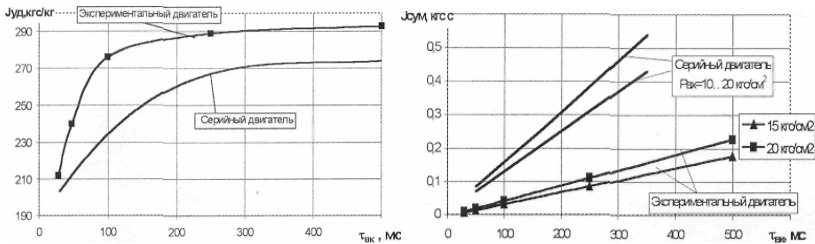


Рис. 6. Сравнительные характеристики экспериментального двигателя с уровнем тяги $0,3 \text{ кгс}$ и серийного двигателя с уровнем тяги $1,3 \text{ кгс}$ в импульсных режимах работы

5. Система хранения и подачи топлива. В части элементной базы системы хранения и подачи компонентов топлива к двигателям в настоящее время в НИИМаш работы ведутся по следующим направлениям: 1. Создание быстродействующего электропневматического клапана (ЭПК). 2. Подтверждение возможности расширить область применения баков с металлическими разделителями диафрагменного типа. 3. Создание композиционных баковых систем для жидких и газообразных рабочих тел. 4. Формирование универсальной системы наддува (СН) топливных баков.

В обеспечение Федеральной космической программы России по развитию малых космических аппаратов проводятся опытно-конструкторские работы по созданию быстродействующего ЭПК для управления газообразными рабочими телами (азот, гелий) с давлением до 350 кгс/см^2 и температурой от минус 50 до плюс 50°C , имеющего следующие параметры: масса не более $0,5 \text{ кг}$, габаритные размеры $039 \times 98 \text{ мм}$, время открытия/закрытия менее $0,03 \text{ с}$, токопотребление не более $0,5 \text{ А}$, допускаемые утечки рабочего тела через закрытый ЭПК не более 10 см^3 в сутки, ресурс по включениям не менее 10000 .

В процессе ОКР найдены конструкторские решения запорного элемента, обеспечивающие работоспособность ЭПК в заданных условиях. В целях уменьшения потребного тягового усилия электромагнитного привода и обеспечения герметичности запорного элемента применено традиционное для НИИМаш клапанное уплотнение типа "фторопласт-металл" отлично зарекомендовавшее себя в электро-кла-

панах РДМТ. В качестве материала уплотнителя выбран плавкий фторопласт-40П. Изготовлены и испытаны с положительными результатами первые экспериментальные образцы.

Использование металлических разделителей топливных полостей и полостей наддува в топливных баках ДУ на основе РДМТ повышает уровень тактико-технических и эксплуатационных характеристик ДУ. Исключается при этом необходимость в специальных устройствах забора компонентов топлива из баков и снижаются требования к системе наддува в части разделения газовых полостей баков окислителя и горючего. Дополнительным преимуществом применения металлических разделителей диафрагменного типа является то, что их жесткость допускает воздействие на бак ускорений произвольной ориентации без нарушения работоспособности.

В настоящее время используются металлические разделители на основе сильфонов и диафрагменного типа. Однако применение разделителей диафрагменного типа до сих пор ограничено областью КА с коротким сроком существования. Данное ограничение обусловлено широким диапазоном температуры конструкции КА, что и приводит к необходимости компенсации «теплого» изменения объема компонентов топлива при эксплуатации в реальных условиях в диапазоне температуры конструкции ДУ и компонентов топлива от 0°C до 40°C . В направлении расширения области применения баков с металлическими разделителями диафрагменного типа проведены специальные расчетно-экспериментальные исследования на базе КДУ 414НС, выполненной в виде моноблока.

Расчетная оценка динамики теплового состояния ДУ выполнена для следующих экстремальных изменений температуры элементов КА в зоне крепления ДУ: - скачкообразное от минимального до максимального значений с последующей стабилизацией на достигнутом уровне; - циклическое повышение от 0°C до 40°C за 8 часов с последующим снижением от 40°C до 0°C за 4 часа. Результаты расчетов показывают: 1) Скачкообразное изменение температуры элементов КА отслеживается на конструкции ДУ через 6 суток. 2) Циклические изменения температуры элементов КА при минимальных остатках компонентов топлива в баке (что снижает тепловую инерционность) отслеживаются на конструкции ДУ с размахом не более 3°C .

Для оценки допустимости подобных изменений теплового состояния без компенсации изменения объемов компонентов топлива проведены специальные исследования. При автономных испытаниях бака диафрагмы выдержали без нарушения работоспособности десятикратную циклическую деформацию, эквивалентную изменению тем-

пературы компонентов топлива с размахом на уровне 20°C , при остаточном количестве топлива до 85% от заправляемого. Диафрагмы сохранили герметичность при воздействии до 500 осесимметричных циклов, эквивалентных колебаниям температуры компонентов топлива с размахом на уровне 20°C , при остаточном количестве топлива $\sim 50\%$ от заправляемого.

При испытаниях двух экземпляров двигательных установок на натуральных компонентах топлива в условиях воздействия изменения температуры с размахом до 50°C проводилась дополнительная оценка работоспособности диафрагм. Оба экземпляра ДУ сохранили работоспособность до полной выработки топлива. Скачкообразное изменение температуры КА с последующей стабилизацией на достигнутом уровне, приводящее к пластической деформации диафрагм, в процессе эксплуатации носит эпизодический характер и не приводит к нарушению работоспособности диафрагм. Учитывая выработку топлива из бака, при которой происходит смещение зоны деформации по образующей диафрагмы, допустимо в процессе эксплуатации многократное изменение температуры КА в широком диапазоне без нарушения работоспособности диафрагм.

6. Результаты исследований построения СП. По результатам расчетно-аналитических и экспериментальных исследований выработан концепция построения СП на основе безроторного насоса. Эффективность предложенной концепции характеризуется следующим:

1. Из СП исключаются вспомогательные емкости, т.к. газ наддува генерируется из компонентов топлива основных баков, а сама СН становится унифицированной для широкого спектра КА с различным запасом компонентов топлива на борту. 2. В связи с тем, что дозированную подачу компонентов топлива для генерации газа наддува обеспечивает саморегулирующийся насос на базе магнитоуправляемого переключателя, отпадает необходимость в элементах автоматики (сигнализаторы давления, ЭПК, редукторы и т.п.) и, следовательно, не нужны блок управления и энергопотребление от бортовых источников питания.

Реализуемость предлагаемой концепции подтверждена испытаниями модельных образцов на натуральных компонентах топлива с обеспечением генерации газа на уровне 30 нормальных литров в секунду. В направлении создания баковых систем из композиционных материалов получены экспериментальные результаты, подтверждающие возможность создания элементной базы, отвечающей мировому уровню космической техники. Изготовлены и испытаны первые образцы однокомпонентных баков для высококипящих топлив типа АТ и НДМГ с

металлической вытеснительной диафрагмой. Характеристики: вместимость - 1,74 л; масса - 0,31 кг; рабочее давление - 100 кгс/см² при давлении разрушения более 200 кгс/см².

Получены положительные результаты по испытаниям экспериментальных образцов баллонов для хранения нейтральных газообразных рабочих тел. Характеристики: вместимость от 25 л до 60 л; масса от 6 кг до 10 кг; рабочее давление на уровне 150 кгс/см² при давлении разрушения более 220 кгс/см².

Эффективность комплекса выбранных направлений научно-исследовательских работ и их перспективность подтверждены экспериментально. По предварительным результатам проектно-конструкторской проработки агрегатов и систем был сформирован облик модульной малогабаритной ДУ. Был изготовлен и испытан на натурных компонентах топлива (АТ+НДМГ) модельный образец ДУ со следующими характеристиками: масса незаправленной установки 4 кг (в составе ДУ четыре двигателя с уровнем тяги 1 кгс и один двигатель тягой 60 кгс) при заправке 10 кг топлива. Масса в незаправленном состоянии подобной ДУ, спроектированной традиционными методами и на основе существующей элементной базы, составит 16...18 кг.

7. Электрореактивная двигательная установка. Параллельно с традиционными работами по созданию и совершенствованию двигательных систем на базе РДМТ НИИМаш проводит исследования по созданию электрореактивной двигательной установки (ЭРДУ) на основе импульсного электронно-детонационного реактивного двигателя (ЭДРД).

ЭРДУ имеет ряд эксплуатационных особенностей. Диапазон регулирования секундного импульса тяги 1:1000 при частоте включений достигает 1000 Гц. Рабочее тело – жидкофазное. Вектор тяги изменяется в диапазоне 0...360° (дискретно через 90° по количеству рядных промежутков в составе ЭДРД). Эксплуатация ЭРДУ возможна в составе КА с различным уровнем располагаемой мощности (потребляемая мощность ЭРДУ есть функция от частоты включений ЭДРД). Тепловые потери на нагрев конструкции ЭДРД и ЭРДУ в целом малы.

Достигнутый уровень характеристик по импульсу тяги при частоте 100 Гц и 1000 Гц (ожидаемый уровень) с энергией в единичном импульсе $E = 0,5 \text{ Дж}$ представлен на рис. 7.

В составе КА предполагается использовать блок из четырёх модулей ЭРДУ, с ожидаемой сухой массой по 10 кг каждый. Такой блок ЭРДУ располагает не только возможностью создания силовых импульсов тяги для задач ориентации и стабилизации, но и возможностью работы одновременно до четырёх модулей в одном направлении

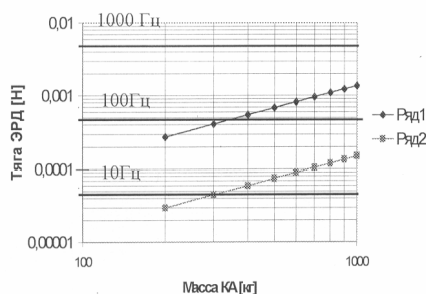


Рис. 7.

для выполнения задач коррекции орбиты КА. Сухая масса одного модуля указана для варианта компоновки ЭРДУ четырьмя «топливными» баллонами объёмом по два литра каждый разработки НИИ Машиностроения.

Приведенные выше характеристики и особенности ЭРДУ во многом определяются разрядным процессом в ЭДРД, который характеризуется высоким уровнем импульсной мощности разряда (более 1 *MWm*) за счёт наносекундной его длительности (менее $50 \cdot 10^{-9}$ с) при относительно малом энергетическом вкладе в разряд (0,5... 5 Дж) и высоким напряжении импульса (до 200 кВ). При этом на вход высоковольтного преобразователя ЭРДУ поступает стандартный уровень напряжения в диапазоне 20... 100 В. Данный тип разряда по текущим представлениям механизма плазмообразования назван электронно-детонационным.

8. Заключение. Таким образом, анализ современного состояния элементной базы двигательных систем показывает, что имеющийся научно-технический задел позволяет при своевременном формировании заказов обеспечить комплектацию современных и перспективных КА двигательными системами с характеристиками, соответствующими уровню предъявляемых требований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Н.М., Белик Н.П., Уваров Е.И. Реактивные системы управления космических летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979.

УДК 539.3:534.1

В.П. Матвееenko, Е.П. Клигман, Н.А. Юрлова

УПРАВЛЕНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ КОНСТРУКЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТЫ

Рассматривается задача управляемого гашения колебательных процессов в механических системах, конструкция которых содержит пьезоволокна. Разработана методика определения диссипативных свойств такой конструкции. Показана высокая эффективность и универсальность предложенного подхода.

1. Введение. В последнее время в качестве конструкционных материалов все более активно используют пьезоэлектрические материалы и изготовленные на их основе дискретные пьезоэлементы и пьезоволокна, называемые *intellifibers* («умные волокна»). Для демпфирования вибраций конструкций с помощью пьезоэлементов их встраивают в определенные места деформируемой системы и соединяют между собой или с точкой нулевого потенциала пассивными RLC-цепями. При использовании пьезоволокон подбирается так же и направление их укладки.

Принцип гашения вибраций основан на преобразовании механической энергии в электрическую с ее последующим рассеиванием во внешних RLC-цепях в виде тепла и электромагнитного излучения. При этом рассеиваемая мощность существенно зависит от параметров внешней цепи. Наибольший эффект от использования подобных систем достигается при решении задач оптимизации динамических свойств оболочечных элементов конструкций (рис.1).

Диссипативные свойства конструкции могут быть определены из решения спектральной задачи теории электровязкоупругости. Для большинства конструкционных материалов эта задача может быть сформулирована в форме с комплексными динамическими модулями, являющимися аналогами дифференциальных и интегральных операторов в физических соотношениях [1-4], и комплексными сопротивлениями внешних электрических RLC-цепей. В этой постановке найденные комплексные собственные значения будут определять частоты собственных колебаний и показатели демпфирования.

Комплексные частоты и формы собственных колебаний зависят не только от конструктивных и технологических особенностей оболоч-

чечных систем, но и от типа и способа электрического соединения (RLC-параметры) пьезоэлементов конструкции. Целенаправленное изменение этих параметров позволит оптимизировать резонансные частоты, формы собственных колебаний и показатели демпфирования системы.

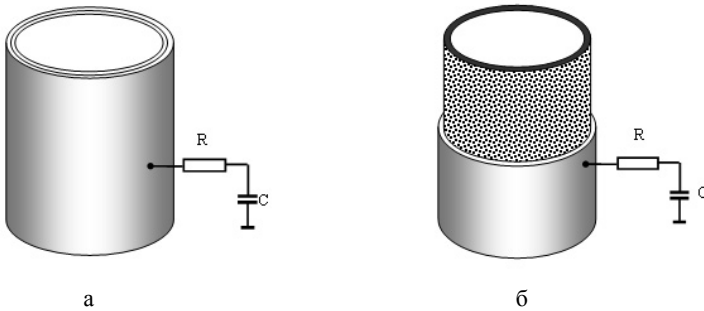


Рис. 1 Цилиндрические оболочки, внутренний слой которых выполнен из углепластика, а наружный из пьезокерамики PZT-4. Варианты со сплошным (а) и половинным (б) покрытием пьезослоем

2. Математическая формулировка задачи. Вариационное уравнение движения тела, состоящего из упругого и пьезоэлектрического элементов, может быть получено на основе соотношений линейной теории упругости и квазистатических уравнений Максвелла [5-7]. В случае изотермического процесса вариационное уравнение может быть записано следующим образом:

$$\int_{V_1} (\sigma^{ij} \delta \varepsilon_{ij} + \rho \ddot{u}^i \delta u_i) dV + \int_{V_2} (\sigma^{ij} \delta \varepsilon_{ij} - D^i \delta E_i + \rho \ddot{u}^i \delta u_i) dV - \int_{\Omega_t} \delta u_i t^i d\Omega - \int_{\Omega_p} q_e \delta \varphi d\Omega = 0 \quad (1)$$

где σ , ε – тензоры напряжений и деформаций; $\bar{u}$ – вектор перемещений; $\bar{D}$, $\bar{E}$ – векторы электрической индукции и напряженности электрического поля; $\bar{t}$ – вектор нагрузок; ρ – плотность материала; Ω_p – поверхность, ограничивающая пьезоэлектрический элемент; q_e и φ – поверхностная плотность зарядов и электрический потенциал. Компоненты тензора деформаций удовлетворяют соотношениям Коши:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}). \quad (2)$$

Электрическое поле считается потенциальным, то есть выполняется условие

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x^i} = -E_i. \quad (3)$$

Для изотермических процессов в линейных электроупругих средах справедливы следующие физические соотношения:

$$\sigma^{ij} = C^{ijkl} \varepsilon_{kl} - \text{для } V_1, \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma^{ij} &= C^{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta^{ijk} E_k \\ D^k &= \beta^{ijk} \varepsilon_{ij} + e^{ki} E_i \end{aligned} \right\} - \text{для } V_2, \quad (5)$$

где C^{ijkl} – тензор упругих констант; β^{ijk} и e^{ki} – тензоры пьезоэлектрических и диэлектрических коэффициентов. Если элемент тела V_1 обладает вязкоупругими свойствами, то, согласно принципу Вольтерра, тензор упругих констант C^{ijkl} в соотношении (4) должен быть заменен соответствующим вязкоупругим оператором.

Применение пьезоматериалов в оболочечных конструкциях требует использования моделей оболочек, учитывающих все компоненты тензоров напряжений и деформаций. Это объясняется тем, что такие материалы, как правило, поляризованные в направлении толщины, проявляют свои свойства при трансверсальном деформировании. Учет всех компонент тензоров напряжений и деформаций может быть осуществлен в рамках шестимодальной теории оболочек Тимошенко.

Для расчета слоистых оболочек используется модифицированный вариант гипотезы ломаной нормали, позволяющий адекватно описывать слои с существенно различными электромеханическими характеристиками.

Рассмотрим процессы, которые описываются временной функцией

$F(t) = F_0 e^{-i\omega t}$, где ω – комплексная частота; F_0 – комплексная форма колебаний. Тогда вариационное уравнение (1) примет вид

$$\int_{\Omega} \left(\delta \{ \varepsilon \}^T [D] \{ \varepsilon \} - \omega^2 \delta \{ u \}^T [\rho] \{ u \} \right) e^{-i\omega t} d\Omega = \int_{\Omega} \delta \{ u \}^T \{ t \} e^{-i\omega t} d\Omega. \quad (6)$$

При отсутствии внешней силовой нагрузки интеграл в правой части уравнения (6) может определять электрические граничные условия для пьезоэлектрических участков оболочки.

Рассмотрим случай, когда один из пьезоэлементов с электродированной поверхностью Ω_0 соединен с точкой нулевого потенциала проводником сопротивлением R , емкостью C и индуктивностью L . Для

математического описания этого типа граничных условий воспользуемся законом Ома для переменного тока:

$$\varphi = \frac{Q}{C} + RI + L\dot{I} = \frac{Q}{C} + R\dot{Q} + L\ddot{Q}, \quad (7)$$

здесь: φ – потенциал; $Q = \int_{\Omega_0} q d\Omega$ – заряд на электроде; $I = \dot{Q}$ – ток в проводнике.

Так как мы рассматриваем квазигармонический процесс, то есть $\varphi(t) = \varphi_0 e^{-i\omega t}$, то дифференциальное уравнение (7) можно разрешить относительно Q :

$$Q(t) = \frac{\varphi_0 \cdot e^{-i\omega t}}{C^{-1} - \omega^2 \cdot L - i \cdot \omega \cdot R}.$$

С учетом эквипотенциальности поверхности Ω_p и того, что RLC является внешней цепью, будет выполняться условие

$$\delta\varphi \int_{\Omega} q_e d\Omega = - \frac{\delta\varphi_0 \varphi_0 e^{-i\omega t}}{C^{-1} - \omega^2 L - i\omega R}.$$

При отсутствии иных поверхностных сил окончательно уравнение движения (6) примет вид

$$\int_{\Omega} \left(\delta\{\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} - \omega^2 \delta\{u\}^T [\rho] \{u\} \right) e^{-i\omega t} d\Omega + \frac{\delta\varphi_0 \varphi_0 e^{-i\omega t}}{C^{-1} - \omega^2 L - i\omega R} = 0, \quad (8)$$

где φ_0 – потенциал на электродированной части пьезоэлемента Ω_0 . Уравнение (8) является однородным и может рассматриваться как вариационная задача на собственные значения.

Таким образом, для пьезоэлектрического тела получено вариационное уравнение квазигармонических колебаний, которое содержит диссипативные слагаемые, обусловленные потерей энергии во внешних электрических цепях с сопротивлением R . Индуктивность внешнего контура L выступает в качестве аналога «механической массы», а емкость C – в качестве аналога «механической жесткости», с помощью которых можно управлять собственными частотами колебаний. Вид уравнения (8) отличается от привычного вида наличием в знаменателе параметра частоты ω , что может привести к некоторым вычислительным трудностям при решении задач на собственные значения.

Вариационная задача (8) с помощью метода конечных элементов (МКЭ) сводится к алгебраической проблеме собственных значений:

$$([K] - \omega^2 [M] + [G(\omega)]) \{X\} = 0, \quad (9)$$

где $[K]$ – матрица жесткости, $[M]$ – матрица масс, $[G]$ – матрица «жесткости» внешних RLC-цепей.

Условием существования нетривиального решения уравнения (9) является

$$D(\omega) = \det([K] - \omega^2 [M] + [G(\omega)]) \quad (10)$$

Уравнение (10) существенно отличается от обобщенной проблемы на собственные значения наличием матрицы $[G(\omega)]$.

В том случае, когда внешняя электрическая цепь соединяет два узла i, j в конечноэлементной модели тела, возможно представление цепей в виде одномерных «электрических» элементов с линейной аппроксимацией электрического потенциала. При этом R-цепи будут со-

ответствовать локальная матрица жесткости $[G_R] = -\frac{i}{\omega R} G_I$, L-цепи

$$[G_L] = -\frac{i}{\omega^2 L} G_I, \text{ и C - цепи } [G_C] = C G_I, \text{ где } [G_1] = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

3. Численные результаты. Для оценки эффективности предложенного подхода в случае оболочечных систем было проведено численное исследование собственных колебаний шарнирно опертых двухслойных цилиндрических оболочек, внутренних слой которых выполнен из углепластика, а наружный - из пьезокерамики PZT-4. Рассматривались варианты со сплошным покрытием поверхности оболочки пьезоматериалом и покрытием до середины (рис. 1, а и б соответственно). Геометрические размеры цилиндра: радиус – 643 мм, длина – 1286 мм, толщина – 6,43 мм. Толщина пьезослоя составляет 20% несущего слоя. Характеристики материалов, входящих в конструкцию, имели следующие значения:

– Углепластик: $E^1 = 4,3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $E^2 = 7,1 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $E^3 = 6 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$, $\nu_{21} = 0,4$, $\nu_{13} = \nu_{23} = 0,24$, $G_{12} = 2 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $G_{13} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, $G_{23} = 2,1 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, $\rho = 1,47 \cdot 10^3 \text{ Кг/м}^3$.

– Пьезокерамика PZT-4: $\rho = 7500 \text{ Кг/м}^3$, $C_{11} = 13,9 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $C_{12} = 7,78 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $C_{13} = 7,43 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $C_{33} = 11,5 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.

В качестве демпфирующего элемента рассматривалась внешняя RC-цепь с емкостью $C = 2 \text{ нФ}$.

Исследовалась возможность демпфирования первых двух мод осесимметричных форм колебаний (рис.2). Здесь следует отметить, что при неосесимметричных модах в случае сплошного электродирования

пьезослоя в окружном направлении электрический потенциал на электроде будет тождественно равен нулю, что делает невозможным демпфирование с помощью внешней цепи. Для гашения неосесимметричных мод электрод пьезослоя должен состоять из определенного числа секторов.

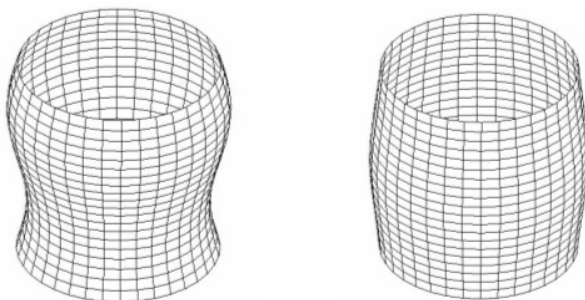


Рис. 2. Демпфирование первых двух мод осесимметричных форм колебаний

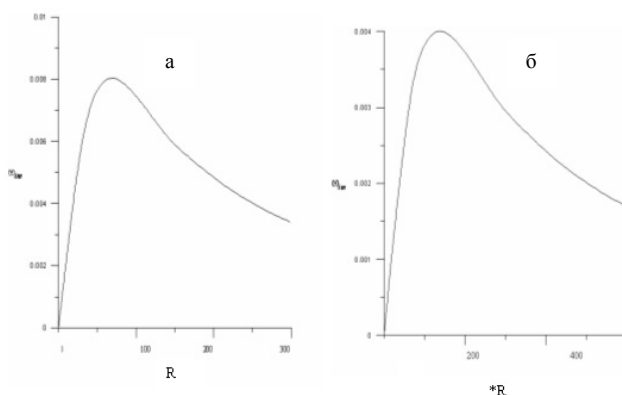


Рис. 3. Зависимость показателя демпфирования от величины активного сопротивления во внешней цепи: а) второй моды собственных колебаний (7520 рад/с) цилиндра со сплошным пьезослоем; б) по первой моде (8550 рад/с) колебаний цилиндра с половинным электродированием наиболее динамично развивается сектор космических данных.

На рис.3,а представлена зависимость показателя демпфирования второй моды собственных колебаний ($\omega_R = 7520 \text{ рад/с}$) цилиндра со

сплошным покрытием пьезослоем. Демпфирование первой моды ($\omega_R = 7050 \text{ рад/с}$), имеющей обратную симметрию в направлении образующей, невозможно, так как в этом случае суммарный электрический потенциал на электроде тождественно равен нулю. Для варианта пьезослоя, расположенного до половины длины оболочки, становится возможным демпфирование, как по второй, так и по первой формам колебаний.

На рис. 3б представлена зависимость показателя демпфирования колебаний цилиндра по первой моде ($\omega_R = 8550 \text{ рад/с}$) от величины активного сопротивления во внешней цепи. Аналогичный вид имеет график, характеризующий демпфирование второй моды собственных колебаний. Анализ результатов расчета показал, что во всех случаях имеет место четко выраженный максимум демпфирования при определенных значениях активного сопротивления внешней цепи.

Влияние величины емкости цепи C на общий показатель демпфирования системы приведено на (рис.4). При увеличении емкости внешней RC-цепи до 30 нФ и более общий показатель демпфирования системы увеличивается примерно в 3 раза, что и отражает зависимость показателя демпфирования от емкости внешней цепи для цилиндра, внешний слой которого выполнен из пьезоэлектрика.

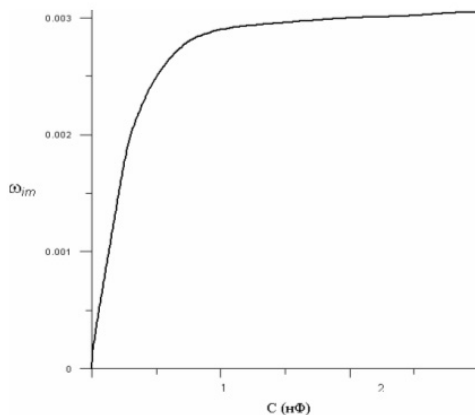


Рис. 4. Зависимость показателя демпфирования от емкости внешней цепи для второй моды собственных колебаний цилиндра со сплошным пьезослоем

В рамках данной программы был выполнен эксперимент, который показывает эффективность гашения колебаний с помощью внеш-

ней активно-индуктивной RL цепи (Рис.5).

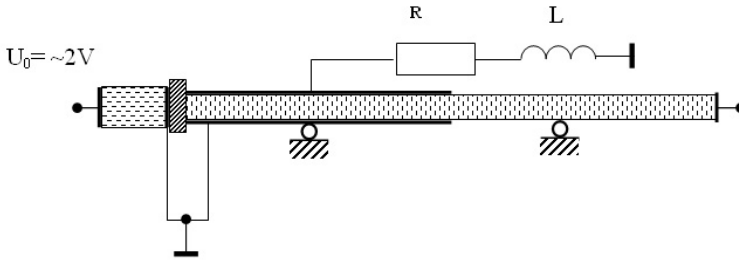


Рис 5 Схема эксперимента

При величине индуктивности $L = 8 \text{ мН}$ и $R = 0 \text{ кОм}$ на амплитудно-частотной характеристике системы почти полностью исчез пик, соответствующий второй резонансной частоте. Это объясняется тем, что подводимая механическая энергия практически полностью преобразуется в электрическую энергию колебаний параллельного LC - контура и рассеивается в виде электромагнитного излучения и джоулева тепла. При этом собственная частота LC - контура совпадает с соответствующей частотой механического резонанса стержневой сис-

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

ТЕМЫ

На рис. 6 представлены зависимости резонансных амплитуд второй моды колебаний стержня от величины активного сопротивления внешней цепи при различных дискретных значениях параметра индуктивности в диапазоне от 0 до 26 *mH*.

Как видно из графика, оптимальное значение индуктивности L для данной моды колебаний лежит в диапазоне 8 – 11 mH . При этом наибольшее демпфирование достигается при значении сопротивления $R \approx 400 \text{ Ом}$ и соответствует почти пятикратному снижению резонансной амплитуды.

4. Выводы. Приведенные численные результаты и экспериментальные данные доказывают высокую эффективность и универсальность разработанной методики гашения нежелательных колебательных процессов в механических системах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 03-01-00557).

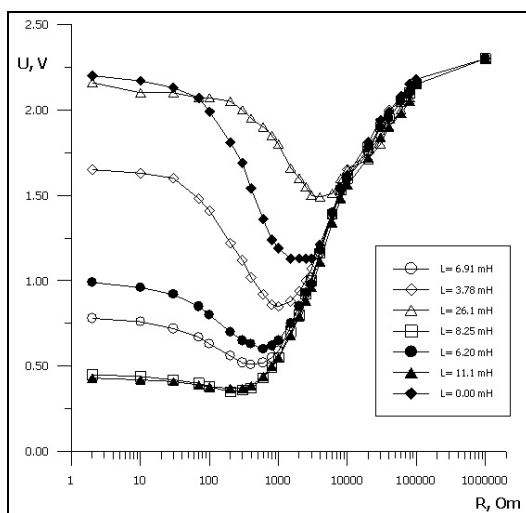


Рис. 6. Зависимость резонансных амплитуд второй моды колебаний стержня от величины сопротивления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Matveyenko, V.P., Kligman E.P.. Natural Vibration Problem of Viscoelastic Solids as Applied to Optimization of Dissipative Properties of Constructions // Journal of Vibration and Control, 1997. – Vol.3. – P. 87-102.
2. Болотин В.В., Новичков Ю.Н.. Механика многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1980.- 376 с.
3. Кравчук А.С., Майборода В.П., Уржумцев Ю.С.. Механика полимерных и композиционных материалов. М.: Наука, 1985.– 304 с.
4. Матвеев В.П., Клигман Е.П., Юрлова Н.А.. Оптимизация диссипативных свойств конструкций из вязкоупругих материалов / Механика и прочность авиационных конструкций: Матер. Российской науч.-техн. конфер. 19-21 марта 2001г. Уфа, 2001. – С. 175-184.
5. Партон В.З., Кудрявцев Б.А.. Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. М: Наука, 1988. – 472 с.
6. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф.. Электротермовязкоупругость. Киев: Наукова думка, 1988. – 320 с.
7. Матвеев В.П., Клигман Е.П., Юрлова Н.А., Грачев Д.В. Управление динамическими свойствами механических систем, выполненных из SMART - материалов на основе пьезоэлектриков. // Математическое моделирование систем и процессов. 2001. – №9. – С. 85-93.

УДК 532.5

Г.А. Щеглов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ
ВЫХОДЕ ГЛАДКИХ УПРУГО ЗАКРЕПЛЕННЫХ ТЕЛ
В ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ПОТОК
ДВИЖУЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ**

Производится численное моделирование переходных процессов, возникающих при помещении гладкого массивного упруго закрепленного профиля бесконечного размаха в плоскопараллельный поток невязкой несжимаемой жидкости. Предложена расчетная схема метода дискретных вихрей, которая не требует априорной фиксации точек схода вихрей на гладком профиле.

1. Введение. В процессе совершенствования летательных аппаратов, старт которых осуществляется с мобильных комплексов в водную среду, актуальной задачей является математическое моделирование переходных процессов и динамических нагрузок, действующих как на амортизирующие системы стартового комплекса, так и на летательный аппарат в процессе выхода. Требование к повышению эффективности комплексов приводит к задаче уменьшения зазора между летательным аппаратом и стартовым устройством [1]. Это накладывает существенные ограничения, как на упругие перемещения конструкции летательного аппарата, так и на перемещения в системе амортизации.

Для точного определения перемещений необходимо учитывать обратную связь между течением жидкости и деформациями упругой конструкции. Флуктуации давления в набегающем потоке приводят к изменению формы и положения обтекаемой поверхности. И наоборот, изменение формы и положения обтекаемой поверхности приводит к новым флуктуациям давления. Таким образом, возникает замкнутая задача гидроупругости.

Быстропротекающий процесс выхода гладкого тела вращения, которым, как правило, является рассматриваемый летательный аппарат, в жидкость, движущуюся поперек траектории старта, сопровождается образованием сложной картины течения с интенсивным вихреобразованием. Вихреобразование имеет нестационарный характер и на гладкой обтекаемой поверхности упруго деформируемого аппарата заранее невозможно указать точки схода вихревой пелены. Вычисление

нестационарных гидродинамических нагрузок является при этом весьма сложной задачей.

Современное развитие вычислительной техники позволяет провести численное моделирование в связанной гидроупругой задаче старта. Однако предварительно необходимо рассмотреть ряд модельных задач для совершенствования методики. В настоящей работе производится численное моделирование переходных процессов, возникающих при помещении гладкого массивного упруго закрепленного профиля бесконечного размаха в плоскопараллельный поток невязкой несжимаемой жидкости.

2. Постановка задачи. Общая расчетная схема представлена на рис. 1.

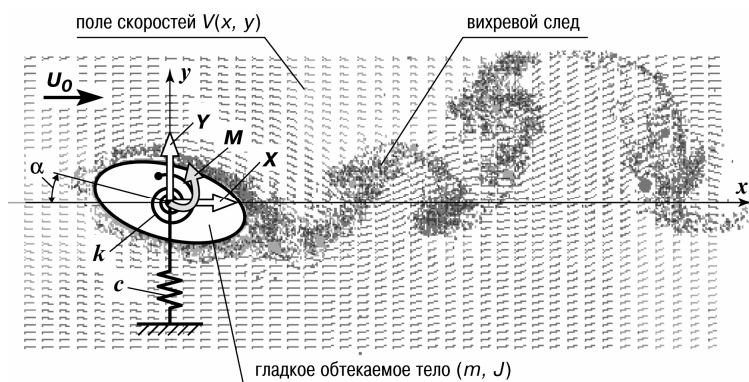


Рис. 1 Общая расчетная схема задачи

В плоскопараллельный поток идеальной несжимаемой среды, движущейся с постоянной скоростью U_0 , в момент времени t_0 помещается колебательная система, состоящая из эллиптического цилиндра бесконечного размаха, неподвижного основания и пружин с линейной характеристикой, соединяющих центр масс цилиндра и неподвижное основание. Цилиндр предполагается абсолютно жестким. Масса цилиндра m , момент инерции относительно точки крепления J . Система на рис. 1 имеет две степени свободы: вертикальное перемещение цилиндра y и угол поворота цилиндра относительно центра масс α . Жесткости пружин для соответствующих степеней свободы обозначены через c и k . Демпфирование в колебательной системе отсутствует.

Начало неподвижной системы координат Oxy , связанной с основанием, совпадает с положением равновесия системы. Вводится также

подвижная система координат $O_I x_I y_I$, начало которой совпадает с центром масс цилиндра, а координатные оси параллельны осям Oxy .

Движущаяся среда считается безграничной и возмущается только цилиндром. Рассматривается нестационарное вихревое обтекание цилиндра потоком и возникающие при этом гидродинамические нагрузки на профиль X , Y , M , приложенные к центру масс O_I . С учетом этих нагрузок, зависящих от поля скоростей среды V , система дифференциальных уравнений, описывающих движение цилиндра на рис.1, может быть записана как

$$\begin{cases} m \frac{d^2 y}{dt^2} = Y(V) - c y \\ J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = M(V) - k \alpha \end{cases} \quad (1)$$

$$y|_{t_0} = 0; \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t_0} = 0; \alpha|_{t_0} = 0; \left. \frac{d\alpha}{dt} \right|_{t_0} = 0.$$

Задача исследования переходного процесса заключается в определении нестационарного поля скоростей среды V , расчете нагрузок $Y(V)$, $M(V)$ и интегрировании системы (1). Предполагается, что при обтекании тела вблизи него и за ним образуется аэродинамический след, характеризующийся наличием в нём вихревого движения. Вне этой области движение является безвихревым. Тогда вне тела и его следа течение среды можно характеризовать одной функцией – потенциалом скоростей Φ . При этом уравнение неразрывности превращается в уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

с граничными условиями на бесконечном удалении от профиля

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \text{grad} \Phi = 0 \quad (3)$$

и условием непротекания на контуре профиля σ

$$(\vec{V}^*)|_{\sigma} \cdot \vec{n}_{\sigma} = 0; \quad (4)$$

здесь V^* - скорость потока относительно движущегося контура.

По известному полю скоростей распределение давления на контуре профиля находится из уравнения Коши-Лагранжа

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{V^2}{2} + \frac{P - P_0}{\rho} = 0; \quad (5)$$

здесь P_0 – давление в невозмущенном потоке; ρ - плотность среды, принятая в расчетах единичной.

На основе распределения давлений определяются нагрузки:

$$\begin{aligned} X(V) &= \oint_{\sigma} P \cos(\vec{n}, O_x) d\sigma; \\ Y(V) &= \oint_{\sigma} P \cos(\vec{n}, O_y) d\sigma; \\ M(V) &= \oint_{\sigma} (Y(V)x - X(V)y) d\sigma. \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнения (1) – (6) вместе образуют связанную задачу гидроупругости в вихревой постановке, решение которой проводится численными методами.

3. Описание метода. В качестве метода численного решения задачи был выбран метод дискретных вихрей, разработанный в трудах научной школы С.М. Белоцерковского как для тонкой несущей поверхности [2], так и для профилей [3]. Применение данного метода позволяет получать хорошие качественные и количественные результаты для случая течения идеальной несжимаемой среды. При этом требуемые вычислительные мощности оказываются значительно меньшими, чем для решения задачи с использованием конечно-разностных сеточных методов.

В применяемом методе вихревой след моделируется множеством дискретных вихрей – бесконечных вихревых нитей, перпендикулярных плоскости потока. Если в неподвижной системе координат Oxy известны координаты $D(x, y)$ дискретного вихря интенсивностью Γ (рис. 2), то проекции скорости, индуцируемой дискретным вихрем в некоторой точке наблюдения M с координатами (x_0, y_0) , находятся по формуле Био-Савара

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{1}{2\pi} \Gamma \frac{x_0 - x}{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} = \Gamma v_x(x, y, x_0, y_0); \\ V_y &= \frac{1}{2\pi} \Gamma \frac{y - y_0}{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} = \Gamma v_y(x, y, x_0, y_0). \end{aligned} \quad (7)$$

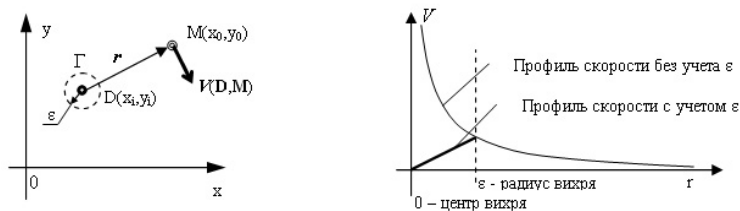


Рис. 2 Определение скорости, индуцированной вихрем

Для исключения неограниченного возрастания скорости вблизи центра вихря вводится радиус вихря ε , как показано на рис. 2. Поле скоростей вихревой нити удовлетворяет уравнению неразрывности, которое в несжимаемой среде линейно. Таким образом, вихревое влияние нескольких вихрей в точке наблюдения может быть суммировано.

Использование метода дискретных вихрей предполагает построение расчетной схемы, состоящей из контрольных точек на контуре профиля и дискретных вихрей, как присоединенных к контуру профиля, так и свободных – движущихся в потоке по траекториям жидких частиц и образующих вихревой след. Интенсивность свободных вихрей неизменна во времени. Рождение свободных вихрей происходит априори задаваемых точках отрыва вихревой пелены.

Необходимость априорной фиксации точек схода вихрей осложняет использование стандартных расчетных схем метода в исследуемой задаче. Для гладких движущихся, деформируемых профилей заранее неизвестны количество точек схода вихрей и их расположение на профиле. При построении расчетных схем в этом случае используются дополнительные критерии, основанные на теории пограничного слоя. Например, в работе [3] предлагается дополнительно использовать конечно-разностные методы на сетке, построенной вблизи поверхности тела.

В настоящей работе предлагается использовать расчетную схему, не требующую априорной фиксации точек схода вихревой пелены. Принцип построения подобной расчетной схемы сформулирован в работе А. Чорина [4]: если невозможно заранее указать точки схода дискретных вихрей, то необходимо предположить, что такой вихрь может сойти в поток в каждой точке гладкой обтекаемой поверхности. Теоретическое обоснование этой схемы приведено в работе Г.А. Павловца и А.С. Петрова [5].

На рисунке 3 представлена расчетная схема на шаге времени t . Профиль цилиндра аппроксимируется многоугольником $ABCDEFGH$. Контур разбивается на N участков длиной dL . Внутри каждого i -того участка расположена контрольная точка K_i с координатами (x_{K_i}, y_{K_i}) и дискретный вихрь интенсивностью γ_i в точке с координатами (x_i, y_i) . Центр дискретного вихря отстоит от поверхности профиля на расстоянии Δ , величина которого определялась согласно работам [5,6].

Особенностью применяемой расчетной схемы является отсутствие присоединенных вихрей. Все вихри γ_i , образованные на шаге t , являются свободными и движутся по траекториям жидких частиц. Кроме

рожденных на данном шаге вихрей, в потоке находится вихревая пелена, состоящая из N_F свободных вихрей с интенсивностями δ_k , рожденных на предыдущих шагах вычислений. Интенсивности свободных вихрей, находящихся в точках (x_k, y_k) , известны и остаются неизменными. Интенсивности γ_i вихрей, рожденных на текущем шаге, неизвестны и подлежат определению из условия непротекания в контрольных точках K_j

$$R + \sum_{i=1}^N \gamma_i V_n(x_i, y_i, x_{Kj}, y_{Kj}) = W_{nj} - U_{0nj} - \sum_{s=1}^{N_F} \delta_s V_n(x_k, y_k, x_{Kj}, y_{Kj}); \quad (8)$$

$j = 1..N$

и теоремы о постоянстве циркуляции

$$\sum_{i=1}^N \gamma_i + \sum_{k=1}^{N_F} \delta_k = 0. \quad (9)$$

Здесь U_{0nj} – проекция скорости среды на нормаль в контрольной точке; W_{nj} – проекция переносной скорости контрольной точки на нормаль;

$V_n(x_i, y_i, x_{Kj}, y_{Kj})$ – проекция скорости, индуцируемой i -тым дискретным вихрем, на нормаль в контрольной точке. Все скорости вычисляются в неподвижной системе координат Oxy .

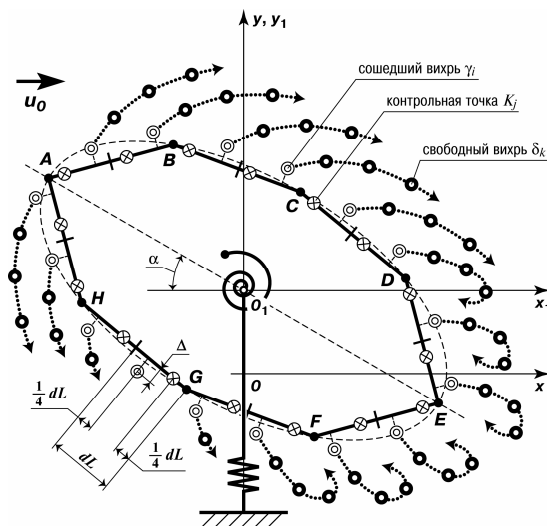


Рис. 3 Расчетная схема метода дискретных вихрей

Для регуляризации системы линейных алгебраических уравнений (8),(9) вводится дополнительная неизвестная переменная R . Как показано в [3], ее значение стремится к нулю при увеличении числа неизвестных γ_i . Свободные вихри движутся вместе с потоком среды. Вычисление перемещений производится путём интегрирования уравнений движения вихрей

$$\begin{cases} \frac{dx_j}{dt} = \sum_{i=1}^N \gamma_i v_x(x_i, y_i, x_j, y_j) + \sum_{k=1}^{N_F} \delta_k v_x(x_k, y_k, x_j, y_j); \\ \frac{dy_j}{dt} = \sum_{i=1}^N \gamma_i v_y(x_i, y_i, x_j, y_j) + \sum_{k=1}^{N_F} \delta_k v_y(x_k, y_k, x_j, y_j); \end{cases} \quad j = 1 \dots N + N_F \quad (10)$$

методом Рунге-Кутты четвертого порядка с постоянным шагом dt .

Поскольку непрерывный контур в расчетной схеме заменяется дискретным набором контрольных точек, при интегрировании движения вихрей вблизи профиля дополнительно программно проверяется условие непротекания. Вихри, проникшие внутрь профиля, возвращаются в поток. Используемая расчетная схема получается простой, однако достаточно громоздкой при численной реализации на ЭВМ. Численные эксперименты [7] показывают, что вихревая пелена, образуемая большим числом свободных дискретных вихрей, устойчива и обладает свойством самоорганизации. В частности, при наличии у профиля острых кромок на них выполняется гипотеза Чаплыгина-Жуковского. При обтекании кругового цилиндра пелена образует устойчивую дорожку Кармана, с параметрами, хорошо совпадающими с известными экспериментальными результатами.

На основе нестационарного поля скоростей среды, получаемого на каждом шаге расчета, может быть определено поле давлений в жидкости и на профиле. Определение давлений в методе дискретных вихрей производится при помощи интеграла (5). Однако, поскольку вихревая пелена содержит большое количество вихрей, то при расчетах используется аналог интегралов Бернулли и Коши-Лагранжа, полученный в работе Г.Я. Дынниковой [8]

$$P_j = P_0 + \rho \left(\frac{U_0^2}{2} - \frac{V_j^2}{2} + \sum_k^{N+N_F} u_k \frac{\Delta \mathbf{r}_k}{dt} + I_\gamma \right), \quad (11)$$

где P_j – давление в контрольной точке; V_j – скорость среды в контрольной точке; u_k – скорость среды, индуцированная k -тым вихрем в контрольной точке; $\Delta \mathbf{r}_k$ – перемещение вихря на шаге, полученное путем интегрирования; I_γ – коэффициент, учитывающий рождение вихрей на текущем шаге, определяемый в [8].

Тестирование вычислений давления по формуле (11) проводи-

лось для случая обтекания неподвижного цилиндра. Полученное распределение давления по поверхности цилиндра и коэффициент сопротивления хорошо согласуются с известными экспериментальными данными. По известному давлению в контрольной точке вычисляются гидродинамические нагрузки X_j , Y_j , M_j , действующие на j -тый участок.

$$X_j = P_j \cos(n_j, Ox); Y_j = P_j \cos(n_j, Oy); M_j = Y_j r_{xj} - X_j r_{yj}, \quad (12)$$

где r_{xj} , r_{yj} – проекции радиус-вектора, проведенного из центра масс профиля в контрольную точку, n_j – нормаль в контрольной точке. Далее путем суммирования по всем участкам находились нагрузки $Y(V)$, $M(V)$ и производилось интегрирование системы (1) методом Рунге-Кутты четвертого порядка с тем же шагом по времени dt , что и при интегрировании движения вихрей.

4. Результаты. В численных экспериментах был использован эллиптический профиль с размерами полуосей 2×1 , аппроксимированный 24 отрезками. Безразмерная масса $m = 3,0$, момент инерции $J = 12,0$. Профиль был разбит на $N = 400$ участков. Начальный угол атаки принимался $\alpha_0 = 30^\circ$. Исследование системы, представленной на рис. 1, проводилось со следующими безразмерными параметрами: $U_0 = 2,0$, $dt = 0,05$, $c = 20,0$, $k = 20,0$. На рис. 4 представлены картины обтекания профиля в различные моменты времени, на рисунке 5 – графики безразмерных гидродинамических нагрузок, а на рис. 6 – графики перемещений центра масс профиля.

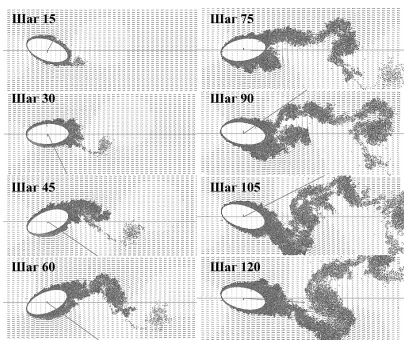


Рис. 4 Фазы переходного процесса

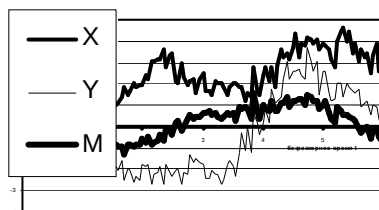


Рис. 5 Гидродинамические нагрузки

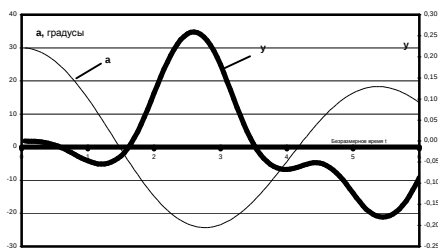


Рис. 6. Перемещения профиля

Численное моделирование переходных процессов производилось на компьютерах с процессором Pentium 4 с тактовой частотой 2,6 ГГц. Было рассчитано 120 шагов процесса. На шаге 120 в потоке находилось 48000 дискретных вихрей. Для ускорения счета использовалась процедура распараллеливания вычислений вихревого влияния в контрольных точках. Затраты машинного времени с процедурой распараллеливания и без нее представлены на рисунке 7. На рисунке обозначено: $T_{\text{общ}}$ – общее время счета, $T_{\text{шаг}}$ – время счета одного шага, Индекс «Пар» обозначает, что величина, получена с использованием параллельных вычислений.

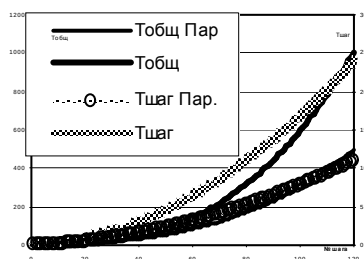


Рис. 7. Затраты машинного времени при проведении расчетов

5. Выводы. На основании проведенных численных экспериментов на модельной задаче можно сделать вывод о том, что расчетная схема метода дискретных вихрей, не требующая априорной фиксации точек схода вихрей на гладком профиле, дает возможность устойчиво рассчитывать переходные процессы в связанной задаче гидроупругости. Она может быть перенесена на задачи старта летательного аппарата с мобильного стартового комплекса в водную среду.

Вместе с тем, использование большого количества вихрей и быстро растущий порядок системы уравнений движения вихрей приводят к большим затратам машинного времени, что представляется оправданным лишь при моделировании быстропротекающих переходных процессов. Использование распараллеливания процесса вычислений вихревого влияния эффективно снижает время вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мнев Е.Н., Романовский А.Ф. К вопросу обеспечения безударного подводного старта баллистической ракеты из пускового стакана // материалы третьей международной конференции Военно-морской флот и судостроение в современных условиях NSN'2003 Секция D <http://www.ksri.ru/rus/sci/conf/nsn2003.htm>
2. Аубакиров Т.О., Белоцерковский С.М., Желанников А.И., Ништ М.И. Нелинейная теория крыла и ее приложения. – Алматы: Гылым, - 1997. – 448 с.
3. Белоцерковский С.М., Котовский В.Н., Ништ М.И., Федоров Р.М. Математическое моделирование плоскопараллельного обтекания тел. – М.: Наука. 1988. 232 с.
4. Chorin A.J. Vortex Sheet Approximation of Boundary Layers // Journal of computational physics. – 1978. – No 27. – С. 428-442.
5. Павловец Г.А., Петров А.С. Об одной возможной схеме расчета отрывного обтекания тел. – Труды ЦАГИ. вып. 1571. 1974. 12 с.
6. Петров А.С. Расчет отрывного обтекания эллиптических цилиндров тел. – Труды ЦАГИ. вып. 1930. 1978. 12 с.
7. Аринчев С.В., Щеглов Г.А. Об одной гипотезе вихреобразования для расчета гидродинамической нагрузки, действующей на двухсредный упругий летательный аппарат // Вісник Харківського національного університету. Серія «М». – Харків, 2003. – №590. – Вып. 1. – С. 244-248.
8. Дынникова Г.Я. Силы, действующие на тело, при нестационарном вихревом отрывном обтекании идеальной несжимаемой жидкостью// Изв. РАН МЖГ. 2001. №2. С.128-138.

УДК 629.78

В.В. Виленский, В.Ф. Матвеев, Е.Е. Чугунов

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ГИРОСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ИСЗ В РЕЖИМЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ГИРОПАМЯТИ

Для гироскопической системы ориентации ИСЗ, содержащей блок датчика угловых скоростей, звездный датчик и вычислитель, к которому подключен источник навигационной информации, проведено исследование составляющих ошибок системы в режиме орбитальной гиропамяти.

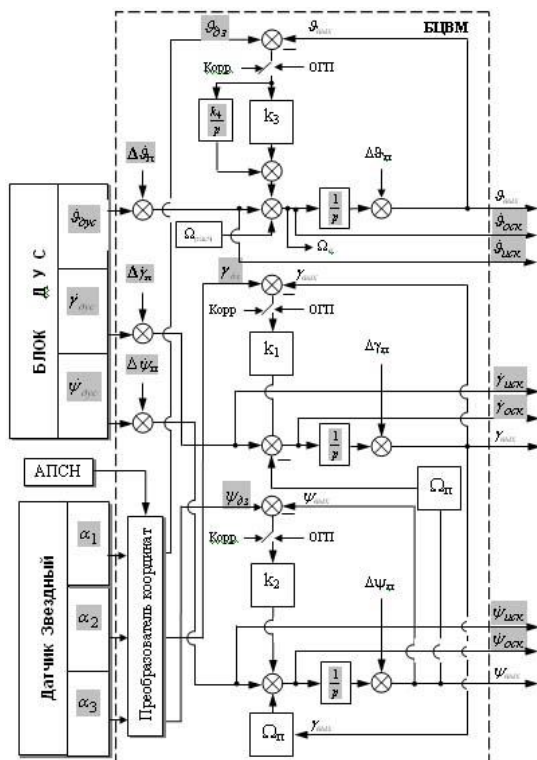
1. Введение. С появлением звездных датчиков (ДЗ) нового поколения, обладающих повышенной точностью и способностью автономно определять угловое положение космического аппарата (КА) относительно инерциальной системы координат (ИСК), стало возможным существенно улучшить точность системы ориентации (СО) КА.

Однако реализация повышенной точности ДЗ в системе ориентации возможна при решении ряда сопутствующих вопросов[1-4]. К ним относятся: 1). Построение структурно-функциональной схемы и алгоритмов работы СО со звездным датчиком при построении приборной орбитальной системы координат (ОСК). 2). Анализ погрешностей системы в режиме орбитальной гиропамяти при периодическом кратковременном применении ДЗ. Повторно-кратковременный режим работы ДЗ позволяет сохранять его ресурс и снизить расход электроэнергии системы. 3). Формирование и введение поправок на ряд ошибок СО, характерных режиму орбитальной гиропамяти.

2. Структурно-функциональная схема астро- гироскопической СО представлен на рис. 1. В её состав входят: трехкоординатный блок датчиков угловых скоростей (блок ДУС), звездный датчик и БЦВМ. Выходы блока ДУС, ДЗ и дополнительной приёмной аппаратуры спутниковой навигации (АПСН) подключены ко входу БЦВМ, с выхода которой в систему угловой стабилизации (СС) поступает информация об углах и угловых скоростях КА относительно орбитальной системы координат.

Углы, измеренные ДЗ относительно ИСК, в БЦВМ преобразуются в углы относительно ОСК при использовании навигационной информации АПСН. Формирование выходной информации БЦВМ производится взаимосвязанными позиционными каналами крена (k_1) и

курса (k_2) и независимым интегрально-позиционным каналом тангажа ($k_3 + k_4/p$). Перекрестная связь каналов крена и курса осуществляется с коэффициентом передачи (Ω_{π}), равным измеренному значению текущей орбитальной угловой скорости. Поправки на дрейф гироскопов блока ДУС ($\Delta\dot{\psi}_n, \Delta\dot{\gamma}_n, \Delta\dot{\theta}_n$) формируются с использованием сигналов ДЗ (см. раздел 4). Поправки в системе СО на прецессию и эллиптичность орбиты ($\Delta\psi_n, \Delta\gamma_n, \Delta\theta_n$) формируются с использованием известных параметров орбиты КА. На рис. 1 команды «Корр» и «ОГП» соответствуют режиму коррекции гироскопов сигналами ДЗ и режиму орбитальной гиропамяти.



**Рис. 1 Структурно-функциональная
схема астро-гироскопической системы ориентации**

Интегрально-позиционная коррекция в канале тангажа в отли-

чие от позиционной коррекции в каналах курса и крена необходима для так называемого запоминания текущей орбитальной угловой скорости во время режима коррекции и использования её при орбитальной гиropaмяти.

3. Уравнения системы ориентации. Линеаризованные уравнения СО и её погрешностей в режиме коррекции гиropaприбора сигналами ДЗ связанных каналов курса и крена в соответствии со схемой на рис. 1 имеют вид:

$$\begin{cases} \psi_{\text{вых}} = \frac{1}{p} [\dot{\psi}_{\text{дyc}} + k_2(\psi_{\text{дз}} - \psi_{\text{вых}}) + \Omega_n \gamma_{\text{вых}}], \\ \gamma_{\text{вых}} = \frac{1}{p} [\dot{\gamma}_{\text{дyc}} + k_1(\gamma_{\text{дз}} - \gamma_{\text{вых}}) - \Omega_n \psi_{\text{вых}}]. \end{cases} \quad (1)$$

Характеристическое уравнение:

$$\Delta = p^2 + (k_1 + k_2)p + k_1 k_2 + \Omega_n^2. \quad (2)$$

Уравнения выходных сигналов системы:

$$\begin{cases} \psi_{\text{вых}} = \psi_{\text{ка}} + \Delta \psi_{\text{co}}; \\ \gamma_{\text{вых}} = \gamma_{\text{ка}} + \Delta \gamma_{\text{co}}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{где } \Delta \psi_{\text{co}}(p) = \frac{(p + k_1)k_2 \Delta \psi_{\text{дз}} + k_1 \Omega_n \Delta \gamma_{\text{дз}} + (p + k_1) \Delta \dot{\psi}_{\text{дyc}} + \Omega_n \Delta \dot{\gamma}_{\text{дyc}}}{p^2 + (k_1 + k_2)p + k_1 k_2 + \Omega_n^2}, \quad (4)$$

$$\Delta \psi_{\text{co}}^{\text{ycm}} = \frac{k_1 k_2 \Delta \psi_{\text{дз}} + \Omega_n k_1 \Delta \gamma_{\text{дз}} + k_1 \Delta \dot{\psi}_{\text{дyc}} + \Omega_n \Delta \dot{\gamma}_{\text{дyc}}}{k_1 k_2 + \Omega_n^2} \approx \Delta \psi_{\text{дз}} + \frac{\Delta \dot{\psi}_{\text{дyc}}}{k_2}$$

при $k_1, k_2 \gg \Omega_n$, где $\Delta \psi_{\text{дз}}$ и $\Delta \gamma_{\text{дз}}$ даны с учетом ошибок установки ДЗ на КА и преобразований углов ДЗ из ИСК в ОСК.

$$\Delta \gamma_{\text{co}}(p) = \frac{(p + k_2)k_1 \Delta \gamma_{\text{дз}} - k_2 \Omega_n \Delta \psi_{\text{дз}} + (p + k_2) \Delta \dot{\gamma}_{\text{дyc}} - \Omega_n \Delta \dot{\psi}_{\text{дyc}}}{p^2 + (k_1 + k_2)p + k_1 k_2 + \Omega_n^2}, \quad (5)$$

$$\Delta \gamma_{\text{co}}^{\text{ycm}} = \frac{k_1 k_2 \Delta \gamma_{\text{дз}} - k_2 \Omega_n \Delta \psi_{\text{дз}} + k_2 \Delta \dot{\gamma}_{\text{дyc}} - \Omega_n \Delta \dot{\psi}_{\text{дyc}}}{k_1 k_2 + \Omega_n^2} \approx \Delta \gamma_{\text{дз}} + \frac{\Delta \dot{\gamma}_{\text{дyc}}}{k_1},$$

при $k_1, k_2 \gg \Omega_n$.

Соответствующие уравнения СО по тангажу (независимый канал) записываются в виде:

$$\vartheta_{\text{вых}} = \frac{1}{p} \left[\dot{\vartheta}_{\text{дyc}} + k_3(\vartheta_{\text{дз}} - \vartheta_{\text{вых}}) + \frac{k_4}{p}(\vartheta_{\text{дз}} - \vartheta_{\text{вых}}) + \Omega_{\text{расч}} \right], \quad (6)$$

$$\Delta = p^2 + k_3 p + k_4, \quad (7)$$

$$\vartheta_{\text{вых}} = \vartheta_{\text{ка}} + \Delta \vartheta_{\text{co}}, \quad (8)$$

$$\Delta \vartheta_{co}(p) = \frac{(k_3 p + k_4) \Delta \vartheta_{\partial z} + p(\Delta \dot{\vartheta}_{\partial yc} + \Omega_{расч} - \Omega)}{p^2 + k_3 p + k_4}. \quad (9)$$

В уравнениях 1-9 обозначено: $\gamma_{вых}$, $\psi_{вых}$, $\vartheta_{вых}$ - выходные сигналы СО по крену, курсу и тангажу соответственно; $\gamma_{\partial z}$, $\psi_{\partial z}$, $\vartheta_{\partial z}$ - выходные сигналы ДЗ после преобразования в ОСК по соответствующим каналам; $\dot{\gamma}_{\partial yc}$, $\dot{\psi}_{\partial yc}$, $\dot{\vartheta}_{\partial yc}$ - выходные сигналы блока ДУС; $\Delta \dot{\gamma}_{\partial yc}$, $\Delta \dot{\psi}_{\partial yc}$, $\Delta \dot{\vartheta}_{\partial yc}$ - погрешности ДУС по соответствующим каналам; $\gamma_{КА}$, $\psi_{КА}$, $\vartheta_{КА}$ - углы поворота КА относительно ОСК по соответствующим каналам; $\Delta \gamma_{co}$, $\Delta \psi_{co}$, $\Delta \vartheta_{co}$ - погрешности СО по соответствующим каналам; $k_1...k_4$ - коэффициенты коррекции. $\Delta \vartheta_{co}^{уст} = \Delta \vartheta_{\partial z}$, где $\Delta \vartheta_{\partial z}$ с учетом ошибок установки ДЗ на КА и преобразований углов ДЗ из ИСК в ОСК.

Влияние прецессии и эксцентриситета орбиты на погрешности СО незначительно в связи с достаточной жесткостью коэффициентов $k_1...k_4$ контуров коррекции по сигналам ДЗ.

4. Режим орбитальной гиропамати. Линеаризованные уравнения по курсу и крену

$$\begin{cases} \psi_{вых} = \frac{1}{p} [\dot{\psi}_{\partial yc} + \Omega_n \gamma_{вых}] + \psi^o \\ \gamma_{вых} = \frac{1}{p} [\dot{\gamma}_{\partial yc} - \Omega_n \psi_{вых}] + \gamma^o \end{cases}, \quad (10)$$

где ψ^o и γ^o последние значения углов $\psi_{вых}$ и $\gamma_{вых}$ предыдущего режима коррекции.

Характеристическое уравнение (для консервативной системы), уравнения выходных сигналов и погрешностей системы имеют вид:

$$\Delta = p^2 + \Omega_n^2.$$

$$\begin{cases} \gamma_{вых} = \gamma_{ка} + \Delta \gamma_{co}(\Delta \dot{\gamma}_{\partial yc}, \Delta \dot{\psi}_{\partial yc}, \Delta \gamma^o, \Delta \psi^o), \\ \psi_{вых} = \psi_{ка} + \Delta \psi_{co}(\Delta \dot{\psi}_{\partial yc}, \Delta \dot{\gamma}_{\partial yc}, \Delta \psi^o, \Delta \gamma^o). \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \Delta \psi_{co}(p) = \frac{p \Delta \dot{\psi}_{\partial yc} + \Omega_n \Delta \dot{\gamma}_{\partial yc} + p^2 \psi^o + \Omega_n p \gamma^o}{p^2 + \Omega_n^2}, \\ \Delta \gamma_{co}(p) = \frac{p \Delta \dot{\gamma}_{\partial yc} - \Omega_n \Delta \dot{\psi}_{\partial yc} + p^2 \gamma^o - \Omega_n p \psi^o}{p^2 + \Omega_n^2}. \end{cases} \quad (12)$$

Влияние предыдущего режима коррекции на погрешности системы находим в соответствии с уравнениями (12):

$$\begin{cases} \Delta\psi_{огп1}(t) = \Delta\psi^o \cos \Omega t + \Delta\gamma^o \sin \Omega t, \\ \Delta\gamma_{огп1}(t) = \Delta\gamma^o \cos \Omega t - \Delta\psi^o \sin \Omega t. \end{cases} \quad (13)$$

В режиме гиropaмyти при орбитальном движении МКА происходит так называемая обкатка гироскопов БДУС с орбитальной угловой скоростью Ω . Начальные углы гироскопов по курсу и крену для данного режима гиropaмyти, являющиеся конечными углами предыдущего режима коррекции, в результате эффекта обкатки периодически меняются местами в соответствии с выражениями (13).

Влияние дрейфа гироскопов на погрешности системы определяются в соответствии с уравнениями (12):

$$\begin{cases} \Delta\psi_{огп2} = \frac{\Delta\dot{\psi}_{\text{др}}}{\Omega_n} \sin \Omega t + \frac{\Delta\dot{\gamma}_{\text{др}}}{\Omega_n} (1 - \cos \Omega t), \\ \Delta\gamma_{огп2} = \frac{\Delta\dot{\gamma}_{\text{др}}}{\Omega_n} \sin \Omega t - \frac{\Delta\dot{\psi}_{\text{др}}}{\Omega_n} (1 - \cos \Omega t). \end{cases} \quad (14)$$

Линеаризованное уравнение по тангажу записывается в виде

$$\ddot{\vartheta}_{\text{вых}} = \frac{1}{p} [\dot{\vartheta}_{\text{др}} + u + \Omega_{\text{расч}}] + \vartheta^o, \quad (15)$$

где ϑ^i - последнее значение угла $\vartheta_{\text{вых}}$ предыдущего режима коррекции;

$$u = k_4 \int_{t_0}^{t_{\text{кон.корр}}} (\vartheta_{\text{др}} - \vartheta_{\text{вых}}) dt - \text{постоянная величина в режиме гиropaмyти.}$$

Без учета внешних факторов (изменение параметров орбиты) и неустойчивости ошибок БДУС, погрешность системы по тангажу в режиме орбитальной гиropaмyти соответствует последнему значению погрешности. Нетрудно показать, что с учетом этих факторов погрешность системы по тангажу в режиме орбитальной гиropaмyти будет нарастать.

Взаимозависимое движение по курсу и крену, происходящее по гармоническим законам с частотой орбитального движения, объясняется переориентацией внешних возмущающих моментов, действующих на гироскопы, со скоростью орбитального движения. В канале тангажа уход гироскопа компенсируется интегрально-позиционной коррекцией. В режиме гиropaмyти запоминается последнее значение интеграла тангажа, что приводит к компенсации запомненного ухода гироскопа. Однако, из-за изменения угловой скорости орбитального

движения при наличии эксцентриситета орбиты и переменной составляющей ошибки ДУС, ошибка системы по каналу тангажа накапливается пропорционально времени.

5. Формирование поправок. Поправки на дрейф гироскопов БДУС при использовании сигналов ДЗ рассматривается на примере варианта, когда система переводится в режим ИГП:

$$\psi_{\text{вых}} = \frac{1}{p} \dot{\psi}_{\text{вых}}; \quad \gamma_{\text{вых}} = \frac{1}{p} \dot{\gamma}_{\text{вых}}; \quad \vartheta_{\text{вых}} = \frac{1}{p} \dot{\vartheta}_{\text{вых}}.$$

В начале и конце заданного интервала времени, например равного периоду орбитального движения, фиксируются угловые показания ДЗ относительно ИСК. Разность углов ДЗ с поправкой на разность углов на выходе системы, из-за изменения ошибок системы стабилизации, отнесенные ко времени гиropaмяти, характеризует дрейф гироскопов. На этот дрейф в БЦВМ формируются соответствующие поправки $\Delta\dot{\psi}_n$, $\Delta\dot{\gamma}_n$, $\Delta\dot{\vartheta}_n$ (см. рис.1), с учетом изменения ошибок системы угловой стабилизации в начале и конце заданного интервала времени: $\Delta\dot{\psi}_n = \{[\psi_{\text{дз}}(t_2) - \psi_{\text{дз}}(t_1)] - [\psi_{\text{вых}}(t_2) - \psi_{\text{вых}}(t_1)]\}(t_2 - t_1)^{-1}$. Аналогично для каналов крена и тангажа. Возможны уточняющие варианты введения поправок на дрейф гироскопов.

Вектор прецессии орбиты (ω_p) параллелен вектору суточного вращения Земли. Поэтому проекции ω_p на оси курса и крена гироскопов БДУС, совершающих орбитальное вращение с угловой скоростью Ω , равны:

$$\begin{cases} \dot{\psi}_{\text{ОГПЗ}} = -\omega_p \sin i \cdot \sin \Omega(t - t_{\text{ГП}}) \\ \dot{\gamma}_{\text{ОГПЗ}} = -\omega_p \sin i \cdot \cos \Omega(t - t_{\text{ГП}}) \end{cases}, \quad (16)$$

где $t = 0$ в восходящем узле орбиты, i - угол наклона плоскости орбиты к плоскости экватора.

Проекция вектора ω_p на ось тангажа складывается с вектором угловой скорости орбитального движения Ω и, как бы увеличивая или уменьшая её, практического влияния на ошибки системы по тангажу не оказывает. Решение (16) показывает расходящийся процесс:

$$\begin{cases} \Delta\psi_{\text{ОГПЗ}} = t \cdot \omega_p \sin i \cdot \sin \Omega(t - t_{\text{ОГП}}), \\ \Delta\gamma_{\text{ОГПЗ}} = t \cdot \omega_p \sin i \cdot \cos \Omega(t - t_{\text{ОГП}}). \end{cases} \quad (17)$$

Поправки на прецессию орбиты формируются в БЦВМ и равны соответствующим ошибкам, но с обратным знаком.

При малых значениях эксцентриситета орбиты влияние его на погрешности системы распространяется практически только на канал

тангажа:

$$\Delta \vartheta_{ОГП4} = \int_{t_{ОГП}}^t \Delta \Omega dt + \int_{t_{ОГП}}^t \left(\frac{d\Delta \vartheta}{dt} - \Delta \Omega \right) dt \quad (18)$$

Первая составляющая – гармоническая величина – характеризует непрерывное влияние переменной составляющей орбитальной угловой скорости из-за эксцентриситета орбиты, вторая составляющая – нарастает во времени и характеризует влияние запомненного остаточного сигнала интегрирующего звена k/p при переходе из режима коррекции в режим ОГП.

Уравнение (18) можно привести к упрощенному виду в функции времени:

$$\Delta \vartheta_{ОГП4} = 2e \left(\frac{\Omega_0}{k_4} + \sin \Omega_0 t + \Omega_0 \cdot t \sqrt{\frac{\Omega_0}{k_4} + 1} \right) \quad (19)$$

Время t отсчитывается с момента прохождения перигея орбиты.

6. Пример расчета. Расчетные погрешности АГСО в предшествующем режиме коррекции и последующем режиме орбитальной гиropaмyти приведены в таблице 1.

Таблица 1

Погрешности элементов СО и возмущающие факторы		Погрешности СО (3σ), угл. сек			Примеч.
Наименование	Величины	Курс	Крен	Тангаж	
Режим астрокоррекции в ОСК					
1.1. Погрешность ДЗ	18"	18	18	18	
1.2. Погрешность измерения углов выставки ДЗ относительно МКА	15"	15	15	15	
1.3. Дрейф гироскопов БДУС					k_1, k_2
- без калибровки в полете	0,3 %	6	6	6	=
- с калибровкой	0,02 %	0,4	0,4	0,4	=0,05
					1/сек
1.4. Упрощение алгоритмов БЦВМ	7"	7	7	7	
	Итого	25"	25"	25"	

<i>Погрешности элементов СО и возмущающие факторы</i>		<i>Погрешности СО (3 σ), угл. сек</i>			<i>Продолжение При меч.</i>
Режим орбитальной гиropaмяти в ОСК (ПСК) в течение 30 минут после коррекции БГО сигналами ДЗ					
2.1. Погрешность СО от предыдущего режима коррекции	25"	25	25	25	
2.2. Погрешность выставки гироско- пов БДУС на МКА	30"	43	43	0	
2.3. Дрейф гироскопов БДУС					
- без калибровки в полете	0,3 %ч	423	423	~ 0	0,5 часа
- с калибровкой	0,02 %ч	28	28		
<i>Наименование</i>	<i>Величины</i>	<i>Курс</i>	<i>Крен</i>	<i>Тан- гаж</i>	
2.4. Отклонение запомненной скоро- сти по тангажу от Ω _{ср} из-за эксцен- триситета орбиты	2eΩ-0,5ч				
- без поправки	0,05(2eΩ·	0	0	742	e = 0,00 1
- с поправкой	0,5ч)	0	0	37	
2.5. Прецессия орбиты	0,16				
- без поправки	°/виток	190	190	0	
- с поправкой	0,01	12	12	0	
	°/виток				
2.6. Упрощение алгоритмов БЦВМ	7"	7	7	7	
	<i>Итого</i>	466	466	743	
		56	56	45	

Таким образом, в принятом числовом примере погрешности (3σ) СО, при введении поправок могут быть приняты равными: а) 25" в режиме коррекции гироскопов сигналами ДЗ по трем каналам; б) 56" в режиме орбитальной гиropaмяти в течении 30 минут по курсу и крену и 45" по тангажу. Без указанных поправок и калибровки гироскопов ошибки (3σ) возрастают на порядок.

7. Выводы. Исследование рассматриваемой системы ориентации ИСЗ показало, что в режиме гиropaмяти собственный уход гироскопов и ошибки предыдущего режима коррекции по каналам курса и крена обуславливают гармонические ошибки с частотой орбитального движения и постоянной амплитудой. Прецессия орбиты по этим каналам приводит к дополнительным ошибкам, частота которых соответствует частоте орбитального движения, а амплитуда непрерывно возрастает. По каналу тангажа в режиме орбитальной гиropaмяти из-за эллиптичности орбиты ошибка непрерывно возрастает.

С целью повышения точности системы и времени орбитальной гиropaмяти при повышенной точности предложены алгоритмические

пути уменьшения постоянно возрастающих погрешностей путем формирования и введения соответствующих поправок и выбора времени перехода в гиropaмять.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Н.М., Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. и др. Баллистика и навигация космических аппаратов: Учебник для технических вузов / – М.: Машиностроение, 1986 – 296 с.
2. Каргу Л.И. Измерительные устройства летательных аппаратов / – М.: Машиностроение, 1988 – 256 с.
3. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов /– М.: Наука, 1974 – 600 с.
4. Туманов А.В., Матвеев В.Ф., Чугунов Е.Е. Системы управления движением малых космических аппаратов дистанционного зондирования и связи. // Аэрокосмические технологии: Труды Всероссийской научно-технической конференции (22мая 2002, г. Реутов, ФГУП НПО машиностроения») / Под ред. Симоньянца Р.П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.

УДК 629.78

В.В. Витер, В.В. Виленский, В.Ф. Матвеев,
В.В. Маркелов, Н.Н. Иванов, Л.Е. Лопатенто,
О.Ю. Седых

ТРЕХОСНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ МКА «БАУМАНЕЦ»

Излагаются принципы построения и приборный состав системы ориентации и стабилизации малого космического аппарата «Бауманец». Приведены характеристики оборудования и результаты математического моделирования основных динамических режимов управления.

1. Введение. Космические аппараты (КА) дистанционного зондирования Земли со средним разрешением при ширине полосы обзора с низкой околоземной орбиты свыше 100 км имеют погрешность ориентации относительно местной вертикали не хуже 2° . Поэтому на космических аппаратах такого класса для построения трехосной орбитальной ориентации используются магнитно-гравитационные системы, дополненные одним или несколькими управляющими двигателями-маховиками. Именно по такому принципу построена трехосная система ориентации и стабилизации малого космического аппарата (МКА) «Бауманец», который был разработан с участием студентов МГТУ им. Н.Э.Баумана [1].

Система ориентации и стабилизации (СОС) МКА «Бауманец» должна удовлетворять следующим требованиям. Погрешности (3σ) ориентации и угловой стабилизации СОС по углу в номинальном режиме не более 2° . Погрешность (3σ) угловой стабилизации в установившемся режиме по скорости не более $0,01^\circ/\text{сек}$. Погрешность индикации углового положения МКА менее погрешности датчиков угловой ориентации с учётом поправок на точность установки датчиков.

2. Приборный состав. В СОС функционально входят две подсистемы: 1) Подсистема управления ориентацией КА, которая работает во всех режимах функционирования с помощью исполнительных органов (ИО) СОС. 2) Подсистема определения углового положения КА, которая измеряет вектор состояния, контролирует ориентацию и непрерывно обеспечивает необходимой информацией систему управления ориентацией при формировании управляющих сигналов на ИО.

Приборный состав СОС включает: а). Чувствительные элементы: солнечный датчик (СД) с двумя оптическими блоками (1 шт.).

Трехкомпонентный магнитометр (ММ) (2 шт.). Экспериментальный датчик горизонта (ДГ) (1 шт.). б). Исполнительные органы: электромагнитные устройства (ЭМУ), каждое из которых имеет две обмотки (3 шт.). Управляющий двигатель-маховик (УДМ) с двумя блоками электроники и дублированными обмотками управления блока механики (1 шт.). Гравитационное устройство (ГУ) (2 шт.). в). Управляющий орган – дублированный блок управления СОС (БУСОС) (1 шт.).

3. Принципы функционирования. В СОС МКА «Бауманец» используется один управляющий двигатель-маховик (УДМ), ось вращения которого направлена по оси OZ аппарата, ориентируемой перпендикулярно к плоскости орбиты. Для ориентации МКА в орбитальной системе координат необходимо, чтобы УДМ постоянно имел ненулевой кинетический момент. Тогда при вращении МКА с орбитальной угловой скоростью за счет гироскопических моментов, возникающих при отклонении вектора ненулевого кинетического момента УДМ от вектора орбитальной угловой скорости, будет обеспечиваться постоянная ориентация оси OZ МКА в направлении оси OZ орбитальной системы координат.

Таким образом, в системе с ненулевым кинетическим моментом обеспечивается пассивная угловая стабилизация МКА по рысканью и крену. Орбитальная угловая скорость вращения МКА на начальном этапе полета обеспечивается электромагнитной системой (магнитометр + 3 электромагнитные устройства) одновременно с успокоением МКА и разгоном УДМ до номинального кинетического момента. После успокоения МКА полная орбитальная ориентация, когда оси МКА все время направлены по одноименным осям орбитальной системы координат, обеспечивается путем активного управления скоростью вращения УДМ относительно его номинального значения.

С использованием активного управления обеспечивается в канале тангажа точная ориентации МКА в направлении на Землю. Точность ориентации при активном управлении УДМ в основном зависит от датчиков, которые используются для получения информации об угле тангажа. При использовании датчика горизонта для заданных высот орбиты она будет не хуже 1° , одного магнитометра - $(2\div 3)^\circ$, комбинации магнитометра с солнечным датчиком – $1,5^\circ$. При отсутствии активного управления полная орбитальная ориентация МКА обеспечивается с помощью гравитационной штанги переводом МКА в гравитационную ориентацию в канале тангажа после ее выдвижения. Точность ориентации в этом случае также будет зависеть от датчика, используемого для формирования сигналов управления электромагнитными устройствами для демпфирования колебаний МКА в канале тангажа.

При использовании магнитометра точность ориентации МКА в направлении на Землю будет составлять $3\pm 5^\circ$. В случае использования датчика горизонта – $1,5\pm 2^\circ$. В каналах рыскания и крена, описанный пассивный метод ориентации, как показывает опыт эксплуатации подобных систем (независимо от способа ориентации МКА в канале тангажа) позволяет обеспечить точности не хуже 1° . Многие приборы СОС, а именно магнитометр, двухкоординатный солнечный датчик, электромагнитные устройства, гравитационное устройство и блок управления СОС, уже прошли или проходят летные испытания в составе СОС различных КА.

Входными сигналами подсистемы определения углового положения КА являются: а) Информация с чувствительных элементов системы: компоненты вектора индукции магнитного поля Земли B_x, B_y, B_z по показаниям магнитометра. Угловое отклонение вектора направления на Солнце от оси ОУ в плоскостях ХОУ и УОZ МКА по показаниям оптических блоков СД. Углы отклонения оси ОХ МКА от местной вертикали по показаниям датчика горизонта. б) Информация от исполнительных органов системы: скорость и знак вращения управляющего двигателя-маховика. в) Информация от навигационной аппаратуры бортового комплекса управления: координаты положения КА на орбите в абсолютной и гринвичской системах координат. Скорости КА на орбите (в абсолютной и гринвичской системах координат) V_x, V_y, V_z . г) Информация с наземного комплекса управления (НКУ): прогноз орбитального движения КА.

Перечисленная информация поступает в бортовое программное обеспечение. Подсистема определения углового положения использует из всего объема поступающей информации ту, что ей необходима в данный момент. Выходными сигналами СОС являются: Управляющие токи на электромагнитные устройства (для успокоения КА, демпфирования колебаний и разгрузки двигателя-маховика). Управляющие напряжения на двигатель-маховик. Телеметрическая и контрольная информация о состоянии СОС.

4. Характеристики элементов системы. Приборы, входящие в состав СОС МКА «Бауманец» имеют следующие характеристики:

Магнитометр (ММ). Прибор предназначен для измерения трех ортогональных компонент проекций вектора индукции магнитного поля Земли (МПЗ), преобразования измеренных величин в напряжения постоянного тока и выдачи сигналов пропорциональных, измеренным компонентам в БУСОС. ММ конструктивно выполнен в виде феррозондового узла (УФ-4) и платы электроники, встраиваемой в БУСОС. Он имеет следующие основные технические характеристики: диапазон

измерения компонент МПЗ ± 70000 Н тл; выход линейный, аналоговый, энергопотребление, не более 0,2 Вт, масса, не более 0,07 кг.

Солнечный датчик (СД) предназначен для измерения углов между оптической осью прибора и проекциями вектора направления на Солнце на плоскости системы координат прибора. СД состоит из двух оптических блоков. Основные технические характеристики СД: поле зрения сферическое; погрешность измерения, не более 1°; выход - порт обмена CAN-2B; энергопотребление не более 0,1 Вт; масса, не более 0,2 кг. В состав СД входят два идентичных оптических блока (ОБ) для формирования требуемого поля обзора.

Управляющий двигатель-маховик (УДМ) предназначен для формирования механических управляющих моментов относительно осей системы координат, связанной с КА. Основные технические характеристики УДМ: максимальный кинетический момент 1,2 Нмс, максимальный управляющий момент 0,0126 Нм, управление линейное, порт обмена CAN-2B. Выход - скорость вращения, порт обмена CAN-2B. Потребляемая мощность: максимальная (при максимальных кинетическом и управляющем моментах), не более 7,0 Вт минимальная не более 1,0 Вт, масса, не более 2,0 кг. Конструктивно УДМ выполнен в виде двух блоков. Первый – блок механики, в котором расположены маховик, двигатель привода маховика, датчик положения ротора и датчик скорости. Второй – блок электроники, в котором расположены два комплекта схем электроники для управления и контроля функционирования УДМ.

Электромагнитные устройства (ЭМУ). ЭМУ предназначено для формирования дипольного магнитного момента, который, взаимодействуя с МПЗ, создает механические управляющие моменты относительно осей перпендикулярных к оси, по которой оно установлено, в связанной с КА системе координат. Основные технические характеристики ЭМУ: диапазон изменения магнитного момента ± 3 Ам², значение остаточного момента не более 0,01 Ам², максимальная потребляемая мощность не более 0,25 Вт, масса не более 0,2 кг. ЭМУ представляет собой электромагнит стержневого типа и состоит из цилиндрического пермаллового сердечника, катушки возбуждения, намотанной на сердечник, корпуса и элементов крепления.

Гравитационное устройство (ГУ) предназначено для создания эллипсоида инерции, обеспечивающего ориентацию КА продольной осью относительно направления местной вертикали. ГУ обеспечивает создание требуемого эллипсоида инерции путем выдвижения легкой трубчатой штанги, с грузом на конце, на заданную длину от места ее закрепления на корпусе КА и состоит из следующих основных узлов:

основания; барабана с намотанной стальной лентой-штангой, оконечной массы (груза), узлов крепления и зачековки на корпусе КА, телеметрических датчиков. Основные технические характеристики ГУ: длина гравитационной штанги 5,0 м; габариты в исходном положении 295х200х200 мм; габариты в рабочем положении 5000х200х200 мм, время выдвижения 2?5 с, масса оконечного груза 2,5 кг, суммарная масса 4,0 кг. ГУ устанавливается по центру верхней платы корпуса КА с ориентацией по продольной оси «плюс ОУ» и крепится к корпусу за основание.

Блок управления (БУ) СОС предназначен для приема из БКУ последовательностей команд, их дешифрации в команды для управления приборами СОС. БУ СОС принимает информацию с чувствительных элементов системы и формирует по их показаниям управляющие напряжения на исполнительные органы СОС (ЭМУ и УДМ) в соответствии с заданными законами управления. Он формирует телеметрическую информацию о функционировании СОС и выдаёт ее в БКУ. БУ СОС состоит из двух комплектов, выполненных в виде моноблока, и имеет следующие основные технические характеристики: максимальная потребляемая мощность не более 2,0 Вт, масса не более 0,6 кг.

5. Режимы управления. СОС МКА «Бауманец» функционирует в режиме успокоения и в режим орбитальной ориентации. Режим успокоения начинается после отделения МКА от ракетоносителя. Гашение угловых скоростей происходит за счет управляющих механических моментов по осям МКА, которые возникают при взаимодействии магнитного поля Земли с магнитными моментами ЭМУ, включаемых по специальному, реализуемому в БУСОС, алгоритму. Каждый ЭМУ формирует дипольные магнитные моменты необходимой полярности величиной до 3 Ам².

Одновременно с успокоением МКА производится разгон УДМ до кинетического момента равного $\approx 0,8$ Нмс и определение ориентации МКА по тангажу с помощью подсистемы определения ориентации по показаниям магнитометра и датчика горизонта. В момент окончания разгона УДМ включается активное управление УДМ в канале тангажа. При включении активного управления с помощью УДМ производится перевод МКА в требуемую по отношению к Земле ориентацию, выдвигается гравитационная штанга и СОС переводится в режим орбитальной ориентации (РОО). В момент включения активного управления приведение МКА в канале тангажа к требуемой ориентации на Землю производится с использованием сигналов с магнитометра, а затем к управлению подключается датчик горизонта.

РОО является основным режимом функционирования СОС и

проводится с точной ориентацией МКА в орбитальной системе координат при включенном УДМ практически в течение всего срока активного существования МКА. В РОО основным исполнительным органом является УДМ. С его помощью, за счет взаимодействия ненулевого кинетического момента УДМ с вектором орбитальной угловой скорости, формируются управляющие механические моменты по каналам рыскания и крена. По каналу тангажа используется принцип активного управления, заключающийся в разгоне или торможении УДМ около значения кинетического момента равного $\approx 0,8 \text{ Нмс}$ по информации об угле тангажа, поступающей с подсистемы определения ориентации, которая использует показания датчика горизонта. Разгрузка УДМ производится с использованием магнитометра и ЭМУ. ЭМУ также используются и для демпфирования колебаний МКА. Моменты создаваемые ЭМУ при демпфировании колебаний и разгрузки УДМ составляют $(0,1?0,3) \text{ Ам}^2$.

5. Моделирование динамических процессов. В соответствии приведенными выше исходными данными и с изложенной программой полета МКА «Бауманец» был разработан программный комплекс и выполнены исследования методом численного моделирования на ЭВМ основных динамических режимов ориентации и стабилизации. Результаты моделирования представлены на рис.1 и 2.

Как следует из приведенных графиков, после отделения от носителя система управления с помощью электромагнитных устройств гасит начальные угловые скорости. Включение маховика по каналу тангажа обеспечивает приведение связанных осей МКА к орбитальным осям координат и стабилизацию с требуемой точностью.

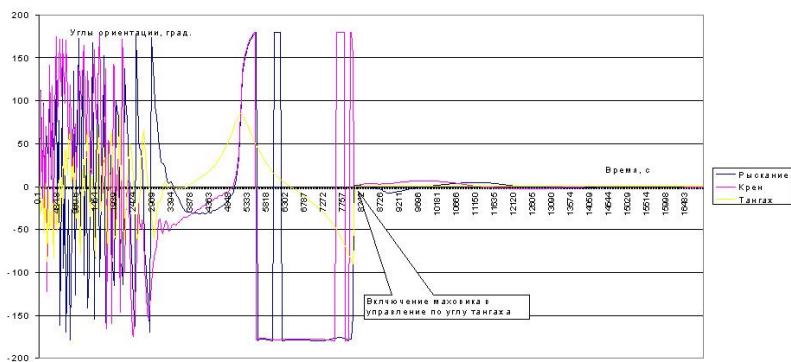


Рис. 1. Процесс успокоения и приведения МКА в орбитальную ориентацию

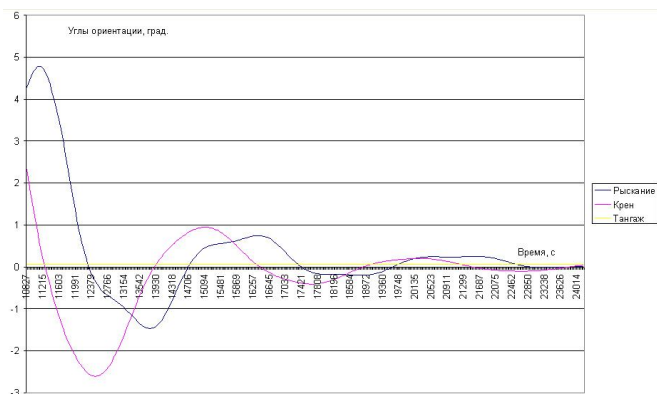


Рис. 2 Погрешности ориентации МКА относительно орбитальной СК через 3 часа после отделения от средств выведения

7. Выводы. Рассматриваемая система трехосной ориентации и стабилизации малого космического аппарата (МКА) «Бауманец» работоспособна и удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майорова В.И., Муравьев В.В., Майоров К.А., Карандаев А.А. Космический аппарат «Бауманец» - базовый элемент научно-образовательного проекта. // Актуальные проблемы развития отечественной космонавтики: Труды XXIX академических чтений по космонавтике. Москва, январь 2005 г./Ответственный редактор А.К. Медведева. М.: Война и мир, 2005. – с. 325-326

УДК 629.78

М.П. Ивлёв, С.В. Платанов,
А.С. Романовский, С.Ю. Чухров

МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ

Рассматривается интегрированная система навигации, основанная на комплексном использовании инерциальных и спутниковых данных, блок чувствительных элементов которой жестко связан с корпусом объекта. Предложены методы интеграции и обработки сигналов. Результаты моделирования и экспериментального исследования образца инерциальной системы спутниковой навигации подтвердили работоспособность и эффективность предложенных методов.

1 Введение. В настоящее время широкое распространение получают интегрированные системы навигации, основанные на комплексном использовании инерциальных и спутниковых данных. Особенно сильно рассматриваемой системы является то, что блок чувствительных элементов, включающий акселерометры и гироскопические датчики, измеряющие кажущиеся ускорения и угловые скорости, жестко связан с корпусом объекта, а все необходимые преобразования осуществляются с помощью цифрового сигнального процессора. Отсутствие гиросtabilизированной платформы в сочетании с использованием спутниковых данных создает предпосылки построения достаточно простых в конструктивном отношении систем невысокой стоимости.

При решении навигационных задач обычно требуется знать географические координаты $S = (\varphi, \lambda, h)^T$ и скорость $V = (V_x, V_y, V_z)^T$, характеризующие положение и движение центра масс объекта, а также матрицу A_{xx_0} перехода от связанного с объектом трехгранника X_0 к географическому трехграннику X . С помощью этой матрицы определяется ориентация объекта в пространстве. Для наземных объектов ориентация задается с помощью курса K и углов тангажа θ и крена ψ , формирующих вектор $\alpha = (K, \theta, \psi)$, от которого зависят элементы матрицы A_{xx_0} . Перечисленные величины составляют навигационные параметры (НП) [1].

Определение НП в инерциальных навигационных системах ос-

новано на интегрировании следующих уравнений: 1. Уравнения, вытекающие из кинематических соотношений нелинейных дифференциальных уравнений. Они обеспечивают вычисление географических координат по данным о скорости. 2. Уравнения Пуассона, устанавливающие зависимость матрицы перехода A_{xx_0} от вектора угловой скорости объекта. 3. Уравнения, описывающие динамику изменения скорости в подвижной системе координат в зависимости от ускорения силы тяжести и измеряемых датчиками угловой скорости и акселерометрами угловых скоростей и кажущихся ускорений [1].

2. **Задача** построения интегрированной системы навигации возникает в случае неудовлетворительного качества функционирования подсистем, так как каждая из них обладает рядом недостатков [2]. По степени связности модулей навигации существует два метода построения интегрированных систем навигации. Первый основан на применении слабосвязной структуры, которая обычно характеризуется малой глубиной зависимости одного модуля навигации от другого и возможностью работы этих систем отдельно. Такие системы называют каскадными [3] или системами с сопровождением [2]. Второй основан на реализации сильно связной структуры и подразумевает построение единой модели системы. Вектор состояния должны содержать как параметры спутниковой системы навигации (ССН), так и параметры инерциальной системы навигации (ИНС). Такая модель является нелинейной в основном из-за нелинейности преобразований для определения координат и скорости. При этом модель измерений также оказывается нелинейной.

Анализ различных моделей реализации интегральной систем навигации показывает, что для построения комплексной системы навигации, при использовании ИНС низкой точности, качество определения навигационной информации получается выше при применении алгоритма интеграции с оценкой параметров ИНС по данным от ССН. При этом базовой для системы принимается слабосвязная структура интеграции. Интеграция модулей навигации осуществляется с использованием методов оценивания параметров системы. Это обусловлено тем, что один модуль является основным, а другой играет роль уточняющего, выдающего некоторый обучающий сигнал для алгоритма оценивания. Задача оценивания при интеграции инерциального и спутникового модулей сводится к определению ошибок навигационных параметров, выдаваемых инерциальным модулем.

3. **Классификация методов.** Анализ методов и алгоритмов оценивания позволил классифицировать их следующим образом [6]: 1.

Классические методы, основанные на определении некоторого параметра сигнала по функции распределения вероятности сигнала, при условии, что данный параметр есть неизвестная, но фиксированная величина. 2. Байесовские методы. Эти методы основаны на предположении, что оцениваемый параметр является случайной величиной. При этом подразумевается, что априорно известна функция распределения вероятностей данного параметра. Оценивание параметра осуществляется с использованием теоремы Байеса об условной апостериорной функции распределения вероятностей [7].

К классическим методам решения задачи оценивания относятся:

1. Минимально-дисперсное оптимальное оценивание.
2. Линейное несмещенное оценивание, являющееся субоптимальным оцениванием.
3. Оценивание с использованием функции максимального правдоподобия.
4. Оценивание методом наименьших квадратов.
5. Оценивание методом моментов.

К байесовским методам оценивания относятся следующие методы: 1. Метод минимизации среднеквадратичной ошибки оценивания. 2. Метод нахождения медианы апостериорной функции распределения вероятностей. 3. Метод нахождения максимального значения апостериорной функции распределения вероятностей. 4. Метод линейного оценивания с минимальной среднеквадратичной ошибкой. 5. Метод оценивания на основе использования фильтра Калмана [9].

Применение методов классического оценивания при построении интегрированной инерциальной спутниковой системы навигации (ИССН) затруднено. Это связано с отсутствием априорной информации о функции распределения вероятностей наблюдаемого сигнала, а также необходимости вывода аналитического выражения алгоритма оценивания, что является достаточно сложной задачей. Использование метода моментов дает удовлетворительный результат только при большой выборке данных, при этом оцениваемый параметр должен быть стационарен. Это делает невозможным применения данного метода для решения задачи интеграции ИССН. Метод наименьших квадратов также обладает рядом недостатков, которые не позволяют эффективно применять его в задачах интеграции ИССН. К таким недостаткам относятся отсутствие учета априорной информации о характеристиках оцениваемого параметра и отсутствие механизмов, учитывающих детерминированное поведение системы.

4. Методы байесовского оценивания. Переходя к рассмотрению методов байесовского оценивания, следует отметить, что применение фильтра Калмана является практическим подходом к реализации метода минимизации среднеквадратичной ошибки оценивания [8].

Для оценивания параметров некоторой системы необходимо построить модель данной системы в терминах пространства состояний:

$$x_k = F_{k,k-1}x_{k-1} + Cu_{k-1} + G_{k,k-1}w_{k-1} \quad (1)$$

Здесь обозначено: x_k – вектор состояния системы на k -ом шаге. $F_{k,k-1}$ – матрица передачи вектора состояния, определяющая влияние вектора состояния на шаге $k-1$ на вектор состояния на шаге k . $G_{k,k-1}$ – матрица определяющая влияние шума на вектор состояния; w_k – шум системы. u_k – вектор известных управляющих сигналов на k -ом шаге алгоритма. C – матрица, определяющая влияние вектора управляющих сигналов на вектор состояния системы.

Физическим смыслом шума системы в модели является описание недетерминированного поведения системы, что возникает в результате недостаточного знания закономерностей ее работы. Следовательно, чем менее изучена система, тем больше влияние шумовой составляющей модели на параметры системы. Это особенно важно в связи с тем, что эффективность работы алгоритма оценивания зависит от точности построения математической модели.

Одним из результатов работы системы является получение оценки вектора наблюдений $z_k = Hx_k + v_k$, где H – матрица влияния вектора состояния x_k и шума измерений v_k . (Полагаем, что шум измерений является белым гауссовским шумом с нулевым средним и ковариационной матрицей $R = M[v_k v_k^T]$). Различие между вектором состояния и вектором наблюдений связано с тем, что в общем случае нет возможности получить наблюдения всех компонентов вектора состояния. Кроме того, компоненты вектора наблюдения содержат шумовую составляющую, определяемую характеристиками измерителя.

В модели системы на основе выражения (1) принято допущение, что шум системы и шум измерений является белым гауссовским шумом с нулевым средним значением. В реальных системах навигации данные шумы могут отличаться от гауссовых. Для реализации оценивания фильтром Калмана параметров, имеющих в измерениях коррелируемые шумовые составляющие, выполняется моделирование данных шумов с использованием формирующего фильтра вида

$$v_k = (1 - B)v_{k-1} + A\sqrt{2Bw_{k-1}}, \quad (2)$$

где A и B – параметры ковариационной функции шума измерений.

Описания ошибок определения навигационной информации ССН в виде коррелируемого шума является допустимым, однако не

отображает динамику изменения ошибок определения навигационной информации. Необходимо получение других данных для формирования оценок уровня ошибок. Такими данными могут служить вспомогательная информация от модуля спутниковой навигации в виде оценок ошибок определения навигационной информации и глобальной оценки качества работы системы, обусловленной пространственным взаимным положением спутников. Современные системы спутниковой навигации позволяют получить данные оценки в виде дополнительных параметров к навигационной информации [10].

Возможен итеративный расчет ковариационной матрицы шума измерений системы по вспомогательной информации от модуля ССН. Расчет ковариационной матрицы выполняется согласно выражению

$$R_k = \frac{1}{k+1} \sum_{l=0}^k X_l X_l^T, \quad (3)$$

где X – вектор оценок ошибок определения навигационной информации спутниковым модулем. В данном случае с ростом набора данных расчет приведет к нечувствительности значений матрицы к изменению сигнала [9]. Для устранения этого эффекта вводится взвешивание значений матрицы с экспоненциальным затуханием. Помимо этого для задачи оценивания ошибок определения навигационной информации ССН необходимо ввести весовые коэффициенты соответствующие глобальной оценке качества работы системы. В результате такого преобразования можно получить следующую итеративную оценку ковариационной матрицы ошибок ССН

$$R_k = \frac{1-\alpha}{1-\alpha^2} (R_{k-1} + DOP \alpha \delta X_k^T), \quad (4)$$

где α – параметр, реализующий экспоненциальное взвешивание; DOP – весовой коэффициент глобальной оценки качества работы системы; δX – вектор оценок ошибок определения навигационной информации выдаваемый модулем спутниковой навигации.

5. Фильтр Калмана. Физический смысл введения такой оценки ковариационной матрицы становится понятен при рассмотрении выражения для расчета коэффициента усиления фильтра Калмана. При увеличении значения ошибки определения навигационной информации увеличивается также и значение ковариационной матрицы данного параметра, что приводит к уменьшению коэффициента усиления и, соответственно, влияния данного измерения на вектор оцениваемых параметров. Весовой коэффициент DOP реализует усиление значимости измерений полученных от системы, находящейся в более выгодном положении.

Описанный выше подход к описанию ошибок определения навигационной информации ССН позволяет алгоритму навигации более точно реагировать на изменение характеристик системы спутниковой навигации. Данное свойство важно особенно для применения навигационных систем в условиях города, лесной или горной местности, где характеристики ССН значительно флуктуируют. Реализованная таким образом система обладает более глубокой связью между модулями ССН и ИНС, что гарантирует более качественные характеристики выдаваемой навигационной информации.

Работа фильтра Калмана основана на оценивании вектора состояния с использованием модели системы (1) и вектора физических измерений (вектора наблюдений). При этом критерием оценивания является минимизация среднеквадратичного отклонения ошибки оценивания

$$\text{tr} M [x_k x_k^T] = \text{tr} P_k \cong \min, \quad (5)$$

где P_k – ковариационная матрица ошибки оценивания вектора состояния.

Основным уравнением работы фильтра Калмана [0] является

$$x_k = F_{k,k-1} x_{k-1} + C u_{k-1} + K_k (z_k - H F_{k,k-1} x_{k-1} - H C u_{k-1}). \quad (6)$$

Два первых слагаемых в правой части равенстве (6) описывают детерминированное изменение вектора состояния с учетом детерминированного воздействия (данное изменение описывается первыми слагаемыми модели системы в пространстве состояний (1)). Третье слагаемое является уточнением, описывающим шумовую составляющую поведения системы. При этом $H F_{k,k-1} x_{k-1} - H C u_{k-1}$ есть предсказание вектора наблюдений по предыдущему вектору состояния и в соответствие с моделью измерений. Для уточнения используется взвешенная ошибка предсказания $z_k - H F_{k,k-1} x_{k-1} - H C u_{k-1}$ и некоторый оптимальный коэффициент усиления K_k (коэффициент усиления Калмана). Определение данного коэффициента осуществляется по критерию (5) и его значение на k -ом шаге находится из выражений

$$\begin{aligned} K_k &= P_{k,k-1} H^T [H P_{k,k-1} H^T + R]^{-1}, \\ P_{k,k-1} &= F_{k,k-1} P_{k-1} F_{k,k-1}^T + G_{k,k-1} Q G_{k,k-1}^T, \\ P_k &= (I - K_k H_k) P_{k,k-1}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $P_{k,k-1}$ – ковариационная матрица априорной оценки вектора состояния.

В отсутствии данных от модуля спутниковой навигации, алгоритм оценки ошибок определения навигационной информации переходит в режим прогноза. В данном режиме алгоритм не учитывает недетерминированную часть модели системы, что приводит к накоплению ошибки. Основное выражение алгоритма оценивания фильтра Калмана (6) принимает вид

$$x_k = F_{k,k-1}x_{k-1} + Cu_{k-1}. \quad (8)$$

В результате проведенных исследования классических и байесовских методов оценивания для интеграции инерциальной и спутниковой систем навигации, обосновано применение фильтра Калмана. Данный метод позволяет учесть априорно известные статистические характеристики параметров навигационной информации, выдаваемых блоками навигации, построить корректную модель детерминированной части поведения системы и учесть введение обратных связей.

6. Модель ошибок определения навигационной информации ИНС следует из описания общей структуры ошибок и шумов работы блока чувствительных элементов (БЧЭ) и алгоритма преобразования данных от блока чувствительных элементов в навигационную информацию. Полная модель ошибок БЧЭ включает в себя большое количество параметров, к которым относятся смещение показаний акселерометров и датчиков угловой скорости (ДУС), масштабные коэффициенты акселерометров и ДУС, неортогональности установки акселерометров и ДУС в блоке чувствительных элементов, дрейф ДУС, зависящий от ускорения. Однако данная модель избыточно описывает поведение ошибок ИНС, т.к. уровень некоторых ошибок элементов БЧЭ многократно превышает другие ошибки, учет которых не дает улучшение качества оценивания, а только значительно усложняет задачу [2]. В связи с этим при реализации реальной системы необходимо построить упрощенную модель, причем степень упрощения зависит от качества используемых в ИНС акселерометров и ДУС.

Упрощенная модель ошибок определения координат горизонтального канала ИНС [2] представлена выражениями:

$$\delta \dot{E} = \delta V_E,$$

$$\delta \dot{N} = \delta V_N,$$

$$\delta \dot{V}_E = -gF_N + a_N F_{UP} - k_1 \delta V_E + w_{11},$$

$$\delta \dot{V}_N = -gF_E + a_E F_{UP} - k_1 \delta V_N + w_{12},$$

$$\begin{aligned}\dot{F}_E &= -\frac{\delta V_N}{R} + w_E^{dr} + k_2 \delta V_N + w_{21}, \\ \dot{F}_N &= -\frac{\delta V_E}{R} + w_N^{dr} + k_2 \delta V_E + w_{22}, \\ \dot{F}_{UP} &= -\frac{\delta V_E}{R} \operatorname{tg} \varphi + w_{UP}^{dr} + w_{23},\end{aligned}\quad (9)$$

где E, N – координаты в проекциях на географическую систему координат; k_1, k_2 – коэффициенты обратной связи для демпфирования ошибок навигационной информации; δV – оценка ошибки определения скорости на выходе алгоритма фильтра Калмана; w_{ij} – элементы вектора шума, описывающего смещения показаний акселерометров и ДУС, масштабных коэффициентов и ошибок ортогональности.

Модель (9) была выбрана для реализации алгоритма оценивания ошибок навигационной информации для горизонтального канала. Модель ошибок вертикального канала представлена уравнениями:

$$\begin{aligned}\delta \dot{h} &= 2V_{UP} - c_1 \delta h, \\ \delta \dot{V}_{UP} &= 2w_{sh} \delta h + \delta W_{UP} - c_2 \delta h, \\ \delta W_{UP} &= w_1,\end{aligned}\quad (10)$$

где δh – ошибки ИНС определения высоты, δV_{UP} – ошибки ИНС определения скорости по вертикальному каналу, c_1, c_2 – коэффициенты демпфирования ошибок вертикального канала, w_{sh} – частота Шулера, w_1 – шум, описывающий ошибки датчиков вертикального канала.

7. Калибровка и выставка инерциального модуля. Интегральное построение системы навигации не снимает задачи калибровки и выставки инерциального модуля, характерные для ИНС. Существуют различные методы выполнения калибровки и выставки [2]. Выставка модуля инерциальной навигации включает в себя следующие задачи: 1. Определение и задание начальных координат объекта. 2. Определение углов отклонения платформенной СК от горизонта, F_X, F_Y . 3. Определение угла отклонения в азимуте платформенной от географической СК, F_Z .

Решение задачи определения начальных координат осуществляется путем приема внешних данных от модуля спутниковой навигации. Для более точного определения начальной позиции необходимо проводить осреднение данных в течение некоторого времени.

Реализация алгоритма выставки сводится к введению дополнительных сигналов управления в алгоритм навигации. Математической

моделью такой операции для бесплатформенной ИНС является введение управляющего сигнала в блок расчета кватерниона поворота инерциальной относительно навигационной системы координат. При этом сигналами управления являются взвешенные ошибки показаний чувствительных элементов по отношению к требуемому стационарному положению объекта. Этапы грубой и точной выставки различаются только весами ошибок, что позволяет значительно ускорить процесс выставки.

Задачей калибровки является определение всех составляющих модели ошибок БЧЭ. После определения данные параметры используются в алгоритме навигации для компенсации ошибок работы БЧЭ. Процедура калибровки основана на работе системы в режиме навигации. После включения системы и завершения процедуры выставки осуществляется сбор навигационной информации в режиме навигации, при этом выполняется детерминированное изменение положения системы в пространстве относительно вектора вращения Земли и вертикали. Положения выбираются с целью формирования системы линейно-независимых уравнений, количество которых позволит определить все неизвестные компоненты модели ошибок ИНС. С целью снижения влияния накапливающихся ошибок процедура калибровки должна быть итеративной по отношению к изменению положения в пространстве. По завершению сбора данных осуществляется оценивание всех неизвестных параметров модели ошибок ИНС.

8. Заключение. Описанные выше методы были промоделированы в среде MatlabTM и реализованы в экспериментальном образце ИССН. В качестве ДУС были использованы пьезокерамические гироскопы низкой точности, а блок спутниковой навигации был реализован на базе приемника GPS сигналов и вычислительного модуля на цифровом сигнальном процессоре. Результаты моделирования и экспериментального исследования образца ИССН подтвердили работоспособность и эффективность предложенных методов интеграции и обработки сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Гироскопические системы», учебник для ВУЗов под ред. Д.Е. Пельпора, 2-е изд., М.: Высшая школа, 1988
2. Applied Inertial Navigation: Problems and Solutions. O. Salychev. –М.: BMSTU Press, 2004.
3. Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration. Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews. – New York: A John Wiley &

- Sons, Inc. Publication, 2001.
4. Development of INS/GPS navigation loop. Master's thesis. Sven Ronnback. –Sydney: Lulea University of Technology, 2000.
 5. A nonlinear observer for GPS and INS integration. Bjornar Vik and Thor I. Fossen.- Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2001.
 6. Steven M. Kay. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1988.
 7. Теория вероятностей. Под ред. В.С. Зарубина. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999.
 8. Sage A.P., Melsa J.L.: Estimation Theory, Academic Press, New York, 1971.
 9. Фарица А., Студен Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. М.: «Радио и связь» 1993.
 10. ANTARIS™ EvalKit GPS Receiver. Users Guide. 2002.

УДК 528.873.044.1

А.Е. Буравин, М.Г. Красногорский

ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ ЦЕНТРА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

Обсуждается проект создания специализированного Центра космической радиолокационной информации в интересах социально-экономического развития России и международного сотрудничества. Отмечается тенденция роста интенсивности развития сектора высоко детальных данных дистанционного зондирования Земли и наиболее динамично развивающегося сектора космических данных.

1. Цели и задачи проекта. Обсуждается проект создания специализированного Центра космической радиолокационной информации. (Проект награжден серебряной медалью IV Московского международного салона инноваций и инвестиций.) Проект ориентирован на обеспечение информацией и технологиями ее использования органов власти субъектов Федерации, предприятий и организаций федерального значения, а также коммерческих структур, нуждающихся в обновлении геопространственных данных, в интересах социально-экономического развития России и международного сотрудничества.

Проект направлен на достижение следующих целей: коммерциализация геопространственной информации, получаемой из космоса и технологий ее обработки с доведением полученных результатов до конечных пользователей, обучение и техническая поддержка пользователей такой информации и программных средств для ее обработки, реализация проектов в области геоинформатики.

Реализация проекта позволит решить следующие задачи. Создать структуру, способную обеспечить коммерциализацию результатов научно-технических разработок и внедрение новых технологий. Вовлечь город Реутов в сферу высокотехнологичной наукоемкой деятельности, способствующей развитию взаимовыгодного сотрудничества в региональном, общероссийском и международном масштабах, и обладающей серьезным потенциалом инвестиционной привлекательности. (Подобные региональные центры успешно функционируют в Канаде, Великобритании, США, Индии и Финляндии.) Привлечь обширный позитивный опыт ФГУП «НПО машиностроения» с его высокими технологиями в решение региональных задач. Содействовать

развитию новых производств в перспективных областях прикладного использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и информационных технологий, ориентирующихся на интеллектуальные высококвалифицированные кадры, а также обеспечить условия для подготовки таких кадров.

Проект будет реализован на базе технологических и имущественных инвестиций со стороны ФГУП «НПО машиностроения» и с привлечением финансовых инвестиционных ресурсов программы «Результаты – наукоград». Привлекаемые финансовые ресурсы будут направлены в первую очередь на формирование минимально необходимой для функционирования Центра организационно-технологической, маркетинговой, сбытовой и сервисной инфраструктуры.

2. Исполнитель проекта – ФГУП «НПО машиностроения».

Предприятие в рассматриваемый проект вносит:

- разработанные технологии обработки и использования радиолокационных пространственных данных и соответствующее программно-математическое обеспечение (только в рамках настоящей конференции заявлено 3 доклада по данной тематике);

- архивную радиолокационную информацию, полученную с космического аппарата «Алмаз-1», наряду с которой будет использоваться информация от зарубежных спутников ДЗЗ (в настоящее время ведутся переговоры с потенциальными зарубежными партнерами);

- преимущественные права на использование радиолокационной информации коммерческого и социально-экономического назначения с космических аппаратов предприятия нового поколения (начиная с 2005 г.);

- уникальный 15-летний опыт высококвалифицированных специалистов ФГУП «НПО машиностроения».

За время эксплуатации космического аппарата «Алмаз-1», выведенного на орбиту в марте 1991 г. было получено 1060 радиолокационных изображений земной поверхности. Полученные данные широко используются в различных областях науки и народного хозяйства, а также в сфере международного сотрудничества.

Была продемонстрирована актуальность использования космических радиолокационных данных высокого разрешения для России с ее обширными северными территориями, которые большую часть года закрыты облаками и недоступны для наблюдения оптическими средствами. Радиолокационные космические системы ДЗЗ, способны оперативно осуществлять круглосуточное всепогодное проведение съемок практически любых территорий планеты. Главное преимущество таких космических технологий – их глобальный характер и возможность

многодисциплинарного применения полученных данных во многих сферах научной и хозяйственной деятельности.

В настоящее время ФГУП «НПО машиностроения» завершает разработку малого космического аппарата двойного назначения с аппаратурой радиолокационного наблюдения земной поверхности (рис.1). Таким образом, у проекта появится свой надежный источник радиолокационных данных высокого и среднего разрешения, отвечающих по основным характеристикам требованиям потенциальных потребителей. Это обеспечит возможность выполнения полного цикла операций, включающего заказ, съемку, обработку и доставку радиолокационных данных.

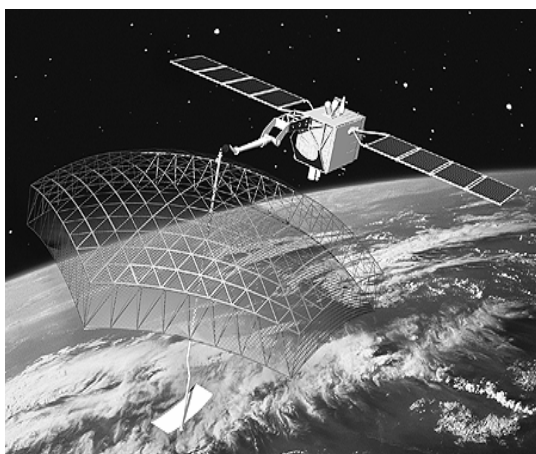


Рис 1. Малый космический аппарат ДЗЗ

Развитие средств радиолокационного зондирования привело к созданию мощного инструментария, используемого в решении целого спектра задач государственного, социально-экономического и коммерческого секторов[1]. Современные методы обработки радиолокационных данных, например интерферометрическая обработка, создание цифровых моделей рельефа и цифровых карт местности, позволяют использовать их как в качестве самостоятельного источника информации, так и как цифровую картографическую основу для разнообразных геоинформационных проектов.

Опыт использования радиолокационных данных высокого разрешения продемонстрировал широкий диапазон возможных темати-

ческих приложений и направлений их использования: геология, картография, лесное хозяйство, рыбное хозяйство и промышленное рыболовство, сельскохозяйственное производство, контроль природопользования и экология, прогнозирование и мониторинг чрезвычайных ситуаций, водное хозяйство, ледовая разведка, телекоммуникации и линии электропередачи, землеустройство и дорожно-строительное планирование.

Жизненный цикл проекта включает 2 фазы. 1-я (инвестиционная), в рамках которой за два года создается минимально необходимая для успешной деятельности Центра инфраструктура, и фаза коммерческого развития.

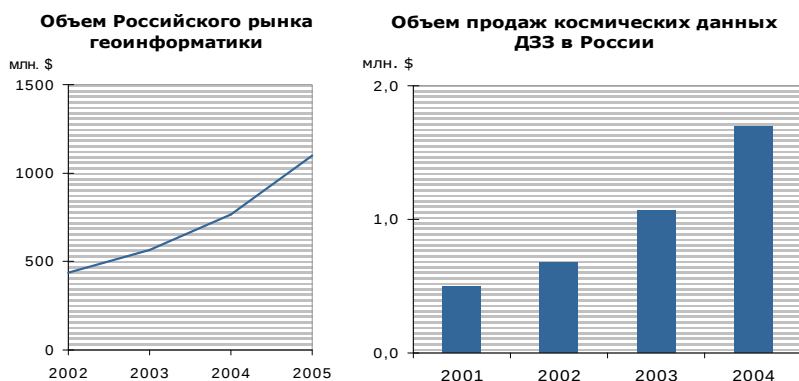


Рис. 2.

3. Перспективы. По данным аналитического обзора ГИС-ассоциации российский рынок геоинформатики в 2003 г. вырос на 29% по сравнению с предыдущим годом и составил 566 млн. \$ (рис.2). Большая доля рынка приходится на производство пространственных данных в процессе постановки на государственный кадастровый учет объектов недвижимости, а также инженерные изыскания, связанные с проектированием и строительством. Это обусловлено, в том числе, продолжением реформ в сфере ведения кадастров, растущим интересом городских властей к комплексным территориальным кадастрам, позволяющим осуществлять оперативную оценку недвижимости и применять гибкие схемы налогообложения, направленные на развитие территорий, а также реформированием системы БТИ и построением

национальной инфраструктуры пространственных данных. На 2004 г. прогнозируются интегральные темпы роста 35%.

В числе основных тенденций следует отметить развитие сектора высоко детальных данных дистанционного зондирования Земли. При этом наиболее динамично развивается сектор космических данных. По оценкам ведущих американских экспертов, общий объем мировых продаж космических данных ДЗЗ вырастет с 3 млрд. \$ в 2003 г. до 6 млрд. \$ в 2012 г. В России прирост этого сегмента за истекший год составил 63%. Ожидается, что в 2004 г. объем продаж космических данных впервые превысит объем продаж данных аэрофотосъемки.

Остается добавить, что в процессе создания Центра (инвестиционный период) только поступления в бюджеты всех уровней при существующем налоговом окружении превысят 5,8 млн. руб. Срок окупаемости проекта согласно разработанному бизнес-плану составляет 2,5 года после завершения инвестиционной фазы. А сумма ежегодных налоговых поступлений от коммерческой деятельности Центра составит не менее 9,5 млн. руб.

4. Заключение. Специалисты предприятия закладывают фундамент для успешной деятельности Центра, предметно работая с различными государственными структурами и институтами, заинтересованными в использовании радиолокационной информации высокого разрешения. Верстается программа работ в интересах таких потребителей на этапе летно-конструкторских испытаний создаваемого НПО машиностроения спутника ДЗЗ нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елизаветин И.В., Гудилин Д.С., Сысенко В.А., Сысенко Д.В. Моделирование процесса получения и обработки радиолокационных изображений высокого качества.// *Аэрокосмические технологии: Труды Всероссийской научно-технической конференции (22мая 2002, г. Реутов, ФГУП НПО машиностроения)* / Под ред. Симоньянца Р.П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.

СВЕДЕНИЯ ОБ УЧАСТНИКАХ КОНФЕРЕНЦИЙ

Организации, представители которых приняли участие в конференциях

Администрация г. Реутова

AFR – Ambassade de France en Russie, Посольство Франции в России

ВШЭ – Высшая школа экономики (Государственный университет)

ВЦ РАН – Вычислительный Центр РАН

ГКНПЦ – Государств. космический научно-произв. центр им. М.В. Хруничева

DRDL – Defence Research and Development Laboratory, India

ЗАО МТ – ЗАО «Матричные технологии»

ЗАО АТ – ЗАО «Анкон-Т», Москва

ЗАО «ЭЛМАШ»

ИМАШ – Институт машиноведения РАН

ИМСС – Институт механики сплошных сред Уральского Отделения РАН

ИММ РАН – Институт металлургии и материаловед. им. А.А. Байкова РАН

ИОФ РАН – Институт Общей Физики РАН

ИЦ им. М.В. Келдыша – Исследовательский центр имени М.В. Келдыша

КНЕСН – Национальный Центр Космических Исследований Франции

МАИ – Московский авиационный институт (Технический университет)

МГИЭМ – Московский государственный институт электроники и математики

МГТУ – Московский государств. технический университет им. Н.Э. Баумана

МИТ – ФГУП «Московский институт теплотехники»

МИЭМ – Моск. институт электроники и матем. (Технический университет)

МКЦ – Молодёжный космический центр МГТУ им. Н.Э. Баумана

МЭИ – Московский энергетический институт (Технический университет)

НИИ МАШ – Научно-исследовательский институт машиностроения

НИИ ЭМ – Научно-исследовательский институт электромеханики

НПОМ – ОАО «ВПК «НПО машиностроения» (до 2006 г. ФГУП «НПО маш»)

ОКБ Вымпел – ФГУП «ОКБ Вымпел»

ООО «Специнтехника»

ONERA – Национальное инженерное бюро аэрокосмич. исследований. (France).

PJ-10 – Programme Manager [Avionics & System Integration] (Индия).

РГГУ – Российский государственный горный университет

РИ – Радиотехнический институт им. А.Л. Минца

Союз В.Н. Челомея – Союз ученых и инженеров им. академика В.Н. Челомея

UL Slovenia – University of Ljubljana, Slovenia, Универс. Любляны, Словения

Феран – ООО «Феран», Москва

Центр «Бизнес-развитие», Реутов

FSSSTE – Attachee Spatiale Service pour la Science, la Technologie et l'Espace
(Франция)

СЕМ – Center for Experimental Mechanics. Центр экспериментальной механики

ЦНИИ МАШ – Центральный научно-исследов. институт машиностроения

**Факультеты и кафедры
МГТУ им. Н.Э. Баумана, представившие доклады**

Факультеты:

АК – Аэрокосмический. **ИБМ** – Инженерный бизнес и менеджмент. **ИУ** – Информатика и системы управления. **МТ** – Машиностроительные технологии. **ПС** – Приборостроительный. **СГН** – Социальные и гуманитарные науки. **СМ** – Специального машиностроения. **ФН** – Фундаментальные науки. **ФЛ** – Факультет «Лингвистика».

Кафедры:

ИУ-1 – Системы автоматического управления. **ИУ-2** – Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации. **ИУ-6** – Компьютерные системы и сети. **ИБМ-4** – Менеджмент. **ИБМ-5** – Финансы. **ИБМ-6** – Предпринимательство и внешнеэкономическая деятельность. **МТ-8** – Материаловедение. **РК-2** – Теория механизмов и машин. **СГН-2** – Социология и культурология. **СМ-2** – Аэрокосмические системы. **СМ-3** – Баллистика и аэродинамика. **СМ-8** – Стартовые ракетные комплексы. **ФН-2** – Прикладная математика. **ФН-3** – Теоретическая механика. **ФН-11** – Вычислительная математика и математическая физика. **ФЛ-2** – Английский язык.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И ОРГАНИЗАТОРАХ

<i>ф.и.о. автора, организация, краткая информация, стр. в сборнике</i>
Abkarion Pier (Франция). Toulouse, France, ONERA. – Стр. 472
Atul D. Rane (Индия). PJ-10. DRDL. – Стр. 441
Абакумов Владимир Сергеевич . МГТУ, канд. техн. наук, доц. СМ-8. – Стр. 448
Аверьянов Павел Владимирович . МГТУ, студент фак. АК, каф. ИУ-1, инженер-стажёр НПОМ. – Стр. 182, 266, 403
Агеева Тамара Ильинична . МГТУ, директор библиотеки. – Стр. 417
Айдин Вячеслав Сергеевич . МГТУ, студ. АК, ИУ-1, инж. НПОМ. – Стр. 298
Акопов Вячеслав Степанович . МГТУ, зав. каф. ИБМ-4, доктор техн. Наук, профессор. – Стр. 38, 419, 495
Ананьев Павел Александр . МГТУ, студент фак. АК, каф. СМ-2. – Стр. 293
Антоненко Сергей Владимирович . ГКНПЦ, начальник сектора. – Стр. 441
Ануфриев Сергей Николаевич . МГТУ, студ. фак. АК, ФН-11. – Стр. 454, 465
Аринчев Сергей Васильевич . МГТУ, доктор техн. наук, профессор каф. СМ-2 – Стр. 89, 326, 489
Асатуров Сергей Михайели . НПОМ, инженер, с 2006 г. канд. техн. наук, выпускник фак. АК МГТУ. – Стр. 478
Ашкинази Евгений Евсеевич . ИОФ РАН, канд. техн. наук, доцент каф. МТ-8 «Материаловедение» МГТУ. – Стр. 327, 330
Бабалова Анна Васильевна . Реутов, зам. Главы города. – Стр. 501
Багдасарьян Надежда Гегамовна . МГТУ, зав. каф. СГН-2, доктор филос. наук, профессор. – Стр. 511
Баженов Владимир Георгиевич . Доктор мед. наук, профессор. – Стр. 501

Базанчук Галина Алексеевна. МГТУ, директор музея. – Стр. 417
Баздарев Максим Константи́н. НПОМ, инж., выпускник фак. АК МГТУ. – Стр. 260, 270, 445
Бакулина Мария Алексеевна. МГТУ, фак. ИУ, асп. каф. ИУ-6. – Стр. 460
Барабаш Жанна Александровна. НПОМ, инженер, аспирантка. – Стр. 460
Баранов Михаил Леонидович. НПОМ, зам. начальника НИО. – Стр. 335
Баширин Александр Михайлович. ГКНПЦ, нач. отд., канд. техн. наук. – Стр. 465
Беднов Сергей Михайлович. ИЦ им. М.В. Келдыша, канд. техн. наук, нач. отд. – Стр. 445
Белавский Сергей Андреевич. ГКНПЦ, инж.-констр. 1 катег., асп. – Стр. 441
Беленовская Юлия Владимировна. НПОМ, инж., выпускник АК. – Стр. 454
Белоглазов Сергей Александрович. НПОМ, инж. 2 катег., асп. – Стр. 155, 465
Белюсов Иван Владимирович. НПОМ, нач. сектора, с 2005 г. канд. техн. наук. – Стр. 472, 478
Беляев Александр Владимирович. МГТУ, канд. техн. наук, доцент каф. СМ-2. – Стр. 451
Березовский Андрей Валерьевич. НПОМ, инженер НИО. – Стр. 320
Бибер Александр Владимирович. НПОМ, пом. ген. дир., вып. АК. – Стр. 417
Благов Анатолий Викторович. НПОМ, зам. нач. отделения. – Стр. 293
Богатов Алексей Николаевич. МГТУ, студент фак. АК, каф. СМ-2. – Стр. 445
Боголюбова Екатерина Николаевна. МГТУ, студ. АК, ФН-11. – Стр. 273
Болотова Л. К. ИММ им. А.А. Байкова РАН. – Стр. 327
Большаков Михаил Валентинович. НПОМ, начальник отделения. – Стр. 465
Бондаренко Леонид Александрович. НПОМ, нач. НИО, канд. физ.-мат. наук, доцент каф. СМ-2 МГТУ. – Стр. 485
Боровинский Виталий Викторович. МГТУ, студ. СМ, каф. СМ-2. – Стр. 89
Борохова Надежда Витальевна. МГТУ, канд. техн. наук, доцент каф. ФН-3. – Стр. 489
Борячѣк Вадим Владимирович. ЗАО «ЭЛМАШ», ген. дир., канд. техн. наук. – Стр. 503
Братчев Александр Васильевич. НПОМ, инж., выпускн. АК МГТУ. – Стр. 485
Бунак Валерий Александрович. НПОМ, нач. Финансово-бухгалтерского комплекса, канд. эконом. наук, доц. каф. СМ-2 МГТУ. – Стр. 34, 309, 495
Буравин Андрей Евгеньевич. НПОМ, зам. ген. директора. – Стр. 502, 572
Бурганский Аркадий Ильич. НПОМ, зам. ген. конструктора. – Стр. 465
Бушуев Александр Юрьевич. МГТУ канд. физ.-мат. наук, доц. каф. ФН-11. – Стр. 273, 323,
Бычкова Татьяна Александровна. МГТУ, студ. фак. АК, каф. ИУ-1. – Стр. 478
Вартанов Тигран Рафаэли. НПОМ, нач. отдела, выпускн. АК. – Стр. 297, 485
Ватолина Елена Геннадьевна. НПОМ, вед. инж., с 2007 г. канд. техн. наук. – Стр. 149, 317, 485

Ватрухин Юрий Михайлович. НПОМ, нач. отд., канд. техн. наук. – Стр. 335
Веретенников Алексей Анатольевич. МГТУ, студ. АК, ФН-11. – Стр. 454, 465
Виленский Владимир Викторович. НПОМ, нач. отд. - Стр. 393, 478, 546, 555
Виноградов Юрий Иванович. МГТУ, доктор техн. наук, проф. каф. СМ-2. – Стр. 451
Виноградов Александр Григорьевич. НПОМ, главн. спец.т отд.. – Стр. 502
Витер Владимир Васильевич. НПОМ, генеральный конструктор по космической тематике, первый зам. ген. директора. – стр. 445, 555
Власкин Алексей Вячеславович. МГТУ, студ. АК, каф. ФН-11. – Стр. 454, 465
Воеводин Алексей Владимирович. МГТУ, студ. АК, каф. СМ-2. – Стр. 260, 445
Володин Валерий Дмитриевич. ГКНПЦ, нач. сектора, канд. техн. наук. – Стр. 441
Волосюк Елена Александровна. НПОМ, инженер НИЛ. – Стр. 128
Воронцова Милана Александровна. НПОМ, инж., выпускница АК. – Стр. 103
Воскобойник Алексей Сергеевич. МГТУ, студ. АК, ФН-11. – Стр. 277, 360
Ву Нгок Хое (Вьетнам). МГТУ, аспирант каф. СМ-3. - Стр. 485
Гайдукевич Станислав Валерьевич. МГТУ, студ. АК, каф. СМ-2. – Стр. 445
Галлямова Елена Валентиновна. МГТУ, канд. техн. наук, доц. ИУ-6.–Стр.511
Гассельблат Александр Александрович. НПОМ, инж., вып. АК. – Стр. 161
Георгиевский Владимир Павлович. МИТ, доктор техн. наук, ст. научн. сотр. – Стр. 441
Герасименко Вадим Олегович. МГТУ, фак. СМ, студ. каф. СМ-2. – Стр. 90
Герасимов Николай Александрович. ВШЭ, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. – Стр. 501
Герди Владимир Николаевич. МГТУ, декан фак. ПС, канд. техн. наук, доц. – Стр. 505
Гонтюк Алексей Павлович. МГТУ, аспирант каф. СМ-2. – Стр. 451
Горбань Александр Александрович. ГКНПЦ, инж. 3-ей категории. – Стр. 441
Горский Валерий Владимирович. НПОМ, нач. НИЛ, доктор техн. наук, профессор каф. ФН-11 МГТУ. - Стр. 128, 134, 317, 485, 502
Горшков Анатолий Герасимович. МАИ, фак. «Прикладная механика», декан, доктор физ.-мат. наук, профессор. – Стр. 489
Грибков Владимир Арсеньевич. МГТУ, канд. техн. наук, доцент каф. СМ-2. – Стр. 90, 296, 489
Григорьев Анатолий Евгеньевич. НПОМ, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук, доцент каф. СМ-2. – Стр. 34, 495
Григорьев Юрий Павлович. Доктор техн. наук, профессор. – Стр. 503
Грицаенко Александр Валерьевич. ОКБ Вымпел, инж. 1 катег. – Стр. 448
Груздь Алексей Николаевич. ОКБ Вымпел, зам. ген. директора. – Стр. 417, 418
Гусев Юрий Алексеевич. ИПМ РАН, ст. научн. сотр., канд. физ.-мат. наук. – Стр. 451
Демихов Константин Евгеньевич. МГТУ, первый проректор – проректор по научной работе, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 505

<i>Дермичев Геннадий Дмитриевич.</i> ГКНПЦ, главный специалист. – Стр. 426
<i>Дзасания Андрей Юрьевич.</i> МГТУ, асп. ФН-11, выпускн. фак. АК. – Стр. 454
<i>Дивеев Асхат Ибрагимович.</i> ВЦ РАН, доктор техн. наук, проф.. – Стр. 503
<i>Димитриенко Юрий Иванович.</i> МГТУ, зав. каф. ФН-11, доктор физ.-мат. наук, профессор. – Стр. 103, 110, 379, 383, 418, 451, 454, 455
<i>Дмитриев Сергей Николаевич.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доцент, зам. зав. каф. СМ-2. – Стр. 117, 122, 348, 451
<i>Дмитриева Ольга Сергеевна.</i> НПОМ, инж. 2 катег., выпускн. АК. – Стр. 465
<i>Домосканов Артур Александрович.</i> МГТУ, фак. ИУ, асп. ИУ-6. – Стр. 460
<i>Дорофеев Анатолий Александрович.</i> МГТУ, декан фак. РКТ, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 511
<i>Драгун Дмитрий Константин.</i> ОКБ Вымпел, ген. директор, генеральный конструктор, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 432, 448
<i>Дроговоз Павел Анатольевич.</i> МГТУ, канд. эконом., наук, доц. ИБМ-6. – Стр. 495
<i>Друзькин Сергей Николаевич.</i> НПОМ, нач. отд., доц. ИУ-6 МГТУ. – Стр. 478
<i>Дудкин Александр Сергеевич.</i> НПОМ, инженер отдела. – Стр. 465
<i>Евстифеев Валентин Васильевич.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доц. каф. ИУ-1. – Стр. 472
<i>Елизаветин Игорь Васильевич.</i> НПОМ, зам. начальника отдела, канд. техн. наук, доцент каф. СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ. – Стр. 231, 277, 278, 367, 457
<i>Елисеев Александр Михайлович.</i> НПОМ, зам. директора НИУ. – Стр. 445, 502
<i>Ерёмин Олег Юрьевич.</i> НПОМ, инж., выпускник фак. АК МГТУ. – Стр. 244
<i>Emri Igor</i> (Эмри И., Словения). <i>UL Slovenia.</i> Академик Академии Наук и Искусств Словении, доктор наук, профессор Люблянского университета, зав. кафедрой, директор СЕМ. – Стр. 67, 91, 489, 514
<i>Ефремов Герберт Александрович.</i> НПОМ, генеральный директор, генеральный конструктор (до 2008 г.), канд. техн. наук, профессор каф. СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ. – Стр. 8, 305, 420, 439
<i>Жарков Александр Валерьевич.</i> ОКБ Вымпел, зам. нач. отдела. – Стр. 448
<i>Жебрак Леонид Михайлович.</i> НПОМ, первый зам. нач. отделения. – Стр. 465
<i>Желаннов Юрий Юрьевич.</i> НПОМ, инж.-программист 1 катег.. – Стр. 161
<i>Жулябин Денис Николаевич.</i> НПОМ, инженер, выпускник фак. АК МГТУ. – Стр. 149
<i>Журавлев Евгений Иванович.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доцент каф. СМ-2. – Стр. 260
<i>Забарко Дмитрий Александрович.</i> НПОМ, канд. физ.-мат. наук (с 2007г.), выпускник фак. АК МГТУ. – Стр. 485
<i>Забегзев Александр Иванович.</i> ОКБ Вымпел, доктор техн. наук. – Стр. 448
<i>Зайцев Сергей Эдуардович.</i> НПОМ, директор Объединённой дирекции космических программ, с 2007 г. канд. техн. наук, выпускник АКФ МГТУ. – Стр. 489, 502

<i>Зародов Алексей Федорович.</i> МГИЭМ, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 460
<i>Зарубин Владимир Степанович.</i> МГТУ, зав. каф. ФН-2 «Прикладная математика», доктор тех. наук, профессор. – Стр. 418, 451, 457
<i>Захаров Виктор Владимирович.</i> МИТ, зам. нач. отделения. – Стр. 448
<i>Захаров Андрей Алексеевич.</i> МГТУ, студент фак. АК, каф. ФН-11. Стр. 379
<i>Захарова Майя Юрьевна.</i> МГТУ, студентка фак. АК, каф. СМ-2. – Стр. 445
<i>Захаровская Татьяна Владиславовна.</i> МГТУ, студ. каф. ИУ-6. – Стр. 460
<i>Зеленцов Валентин Викторович.</i> МГТУ, руководитель НУК СМ, декан фак. СМ, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 419, 506, 507, 514, 515
<i>Золотухин Виталий Сергеевич.</i> МГТУ, фак. СМ, асп. каф. СМ-2. – Стр. 452
<i>Ибраева Ирина Ивановна.</i> ГКНПЦ, начальник сектора, асп. – Стр. 441
<i>Ivanov-Trotignon Catherine</i> (Франция). AFR, FSSSTE, представитель КНЕСН. – Стр. 417, 419, 495
<i>Иванов Сергей Юрьевич.</i> МГИЭМ, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 465
<i>Иванов Михаил Юрьевич.</i> НПОМ, инж., аспирант каф. ФН-11, выпускник фак. АК МГТУ. Стр. 75, 110, 383
<i>Иванов Илья Александрович.</i> МГТУ, студ. фак. АК, каф. ИУ-6, инж. НПОМ. Стр. 199, 209
<i>Иванова Галина Сергеевна.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доцент каф. ИУ-6. – Стр. 207, 218
<i>Игрицкий Владимир Александрович.</i> МГТУ, аспирант каф. СМ-8. – Стр. 448
<i>Изотова Светлана Геннадьевна.</i> НПОМ, нач. группы, выпускн. АК. – Стр. 454
<i>Ильичев Алексей Васильевич.</i> НПОМ, доктор техн. наук, проф.. – Стр. 503
<i>Калугин Иван Юрьевич.</i> МГТУ, аспирант каф. СМ-2. – Стр. 117
<i>Качинский Иван Владимирович.</i> МГТУ, студ. фак. АК, каф. ИУ-6. – Стр. 465
<i>Кашикаров Александр Игоревич.</i> МГТУ, асп. каф. ФН-11, вып. АК. – Стр. 454
<i>Кашитанов Виктор Алексеевич.</i> МИЭМ, доктор физ.-мат. наук, профессор. – Стр. 503
<i>Кирсанова Валерия Владимировна.</i> МГТУ, студ. фак. АК, СМ-2. – Стр. 445
<i>Кирющенко Дмитрий Николаевич.</i> НПОМ, инженер. – Стр. 478
<i>Клигман Евгений Петрович.</i> ИМСС УрО РАН, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 527
<i>Клюев Юрий Иванович.</i> МГТУ, доктор физ.-мат. наук, профессор каф. СМ-2 «Аэрокосмические системы». – Стр. 79, 289, 338, 451
<i>Клюева Галина Петровна.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доц. РК-5. – Стр. 352
<i>Кобелева Л.И.</i> ИММ РАН им. А.А. Байкова. – Стр. 327
<i>Козлов Юрий Сергеевич.</i> Реутов, зам. Главы города. – Стр. 438
<i>Козлов А.В.</i> Российский государственный горный университет. – Стр. 330
<i>Kozoderc Samo.</i> (Словения) Студент Люблянского университета. – Стр. 72
<i>Колготин Алексей Викторович.</i> НПОМ, канд. техн. наук, выпускник АК. – Стр. 387
<i>Колесник Сергей Александрович.</i> МАИ, аспирант. – Стр. 457

Комаров Николай Валерьевич. ЗАО МТ, канд. техн. наук. – Стр. 503
Коньшин А.С. Российский государств. горный университет. – Стр. 330
Конюков Владимир Васильевич. НПОМ, ведущий специалист. – Стр. 383
Корепанов Андрей Сергеевич. МГТУ, асп. ФН-11, выпускн. АК. – Стр. 454
Коровайцев Анатолий Васильевич. МАИ, доктор физ.-мат. наук, профессор. – Стр. 459, 511
Коровайцева Нина Сергеевна. МГТУ, канд. техн. наук, доц. ФН-3. – Стр. 489, 511
Коростелев Андрей Валентинович. НПОМ, нач. сектора, вып. АК. – Стр. 489
Короткий Сергей Александрович. МГТУ, студент каф. СМ-2. – Стр. 286
Кострикин Василий Никандрович. НПОМ, нач. НИЛ, канд. техн. наук. – Стр. 298, 478
Котенев Владимир Пантелеевич. НПОМ, зам. нач. НИЛ, канд. физ.-мат. наук, доцент каф. ФН-11 МГТУ. – Стр. 485
Котович Александр Валерианович. МГТУ, канд. техн. наук, доц. – Стр. 457
Кочетков Алексей Валерьевич. ГКНПЦ, инж. 2 катег., асп. – Стр. 448
Кочнев Игорь Александрович. НПОМ, ведущий конструктор. – Стр. 445
Красников Николай Николаевич. НПОМ, инж. 2 катег. – Стр. 161
Краснов Игорь Константинович. МГТУ, канд. техн. наук, доц. каф. ФН-11. – Стр. 277, 457
Красногорский Михаил Георгиевич. НПОМ, нач. НИЦ. – Стр. 502, 572
Крылова Лидия Андреевна. Реутов, зам. Главы города. – Стр. 417, 419
Крылова Валерия Викторовна. МГТУ, студ. фак. АК, ФН-11. – Стр. 277
Кудинов Александр Сергеевич. ГКНПЦ, инж. 2 категории, асп. – Стр. 441
Кузнецов Олег Владимирович. МИТ, доктор техн. наук, проф. – Стр. 451
Кузнецов Александр Николаевич. МГТУ, студ. фак. АК, ИУ-1. – Стр. 185
Кузнецова Екатерина Львовна. МАИ, аспирантка. – Стр. 457
Кукса Павел Павлович. МГТУ, студент каф. ИУ-6. – Стр. 460
Кулаков Александр Валерьевич. НПОМ, инженер, аспирант. – Стр. 478
Куранов Евгений Геннадьевич. НПОМ, Первый зам. нач. ЦКБМ, канд. техн. наук, доцент кафедры СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ. – Стр. 13, 417, 505, 508, 509, 510
Курков Максим Александрович. МГТУ, зав. лабораторией фак. АК. Стр. 417
Кушнер Борис Израйлович. НПОМ, нача. отдела, канд. техн. наук. – Стр. 445
Лаврентьева Анна Николаевна. МГТУ, студ. АК, ИУ-6. С 2005 инж. НПОМ. – Стр. 134, 485
Лаврова Лариса Алексеевна. ОКБ Вымпел, ведущий инженер. – Стр. 449
Лакунин Константин Юрьевич. Доктор мед. наук, профессор. – Стр. 412
Лалин Валерий Юрьевич. ЦНИИМАШ, начальник отдела. – Стр. 479
Ларин Евгений Григорьевич. НИИМАШ, гл. констр., доктор техн. наук. – Стр. 445, 516
Ле Шонг Тунг (Вьетнам). МГТУ, аспирант каф. ФН-2. – Стр. 457

Лебедев Алексей Сергеевич. МГТУ, студ. фак. АКФ, каф. ИУ-6. – Стр. 251
Леонов Александр Георгиевич. НПОМ, генеральный директор, генеральный конструктор (с ноября 2007 г.), канд. техн. наук. – Стр. 418
Лисицын Вячеслав Львович. НПОМ, нач. отд., канд. техн. наук, доц. каф. ИУ-1. – Стр. 246, 251, 266, 270
Лотарёв Николай Михайлович. ГКНПЦ, инженер 1-ой категории. – Стр. 441
Лунев Андрей Алексеевич. НПОМ, вед. инж., асп. ИУ-1, вып. АК. – Стр. 472
Любовный Владимир Яковлевич. Доктор эконом. наук, профессор. – Стр. 501
Люкевич Николай Васильевич. МГТУ, канд. техн. наук, доц. СМ-8. – Стр. 448
Майорова Виктория Ивановна. МГТУ, руков. МКЦ, к. т. н., доцент. – Стр. 72
Максимов Григорий Максимович. МГТУ, ст. препод. каф. ФН-3. – Стр. 489
Малинин Виктор Леонидович. МГТУ, канд.техн.наук, доц. ИБМ-4. –Стр. 38
Мартынов Вячеслав Иванович. НПОМ, первый зам. генерального директора, доцент каф. ИУ-6 «Компьютерные системы и сети» МГТУ. – Стр. 199, 209, 312, 495, 502
Матвеев Валерий Александрович. МГТУ, руководитель НУК ИУ, декан фак. ИУ, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 418, 472, 478
Матвеев Валерий Федорович. НПОМ, зам. нач. отдела, канд. техн. наук. – Стр. 445, 478, 546, 555
Матвеевко Валерий Павлович. ИМСС УрО РАН, директор, академик РАН, доктор техн. наук. – Стр. 527
Медведев Александр Алексеевич. ГКНПЦ, генеральный директор, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 426
Медведский Александр Леонидович. МАИ, канд. физ.-мат. наук, доцент. – Стр. 489
Мелкумян Левон Владиславович. МГТУ, студ. АК, каф. ФН-11. – Стр. 323
Мельдианов Павел Викторович. МГТУ, студент каф. ИУ-6. – Стр. 460
Меняев Михаил Федорович. МГТУ, доктор пед. наук, канд. техн. наук, профессор каф. ИБМ-4 «Менеджмент». – Стр. 511
Мещанкин Дмитрий Андреевич. МГТУ, студ. фак. СМ каф. СМ-2. – Стр. 489
Милюченко Сергей Георгиевич. НПОМ, начальник сектора. – Стр. 465
Минаев Юрий Иванович. НПОМ, зам. ген. директора. – Стр. 13, 505, 510
Миронов Юрий Михайлович. НПОМ, начальник отдела. – Стр. 379
Морозов Денис Викторович. ГКНПЦ, инж. 2 категории, асп. – Стр. 441
Harit Gregor (Словения). Студент Люблянского университета. – Стр. 72
Натаров Борис Николаевич. НПОМ, нач. отд., ст. преп. СМ-2 МГТУ. – Стр. 418
Немцов Александр Аркадьевич. МГТУ, канд. психол. наук, доц. СГН-2. – Стр. 511
Несененко Георгий Алексеевич. МГТУ, доктор физ.-мат. наук, проф. ФН-2. – Стр. 457
Нестеренко Андрей Николаевич. НПОМ, инж., асп. ИУ-6 МГТУ. – Стр. 460
Нестерова Нина Кимовна. НПОМ, заместитель начальника ФБК. – Стр. 495
Неусыпин Константин Авенирович. МГТУ, доктор техн. наук, проф. ИУ-1.

– Стр. 472
Нефедов Владимир Иванович. ОКБ Вымпел, зам. ген. директора. – Стр. 448
Никитенко Вячеслав Иванович. НПОМ, нач. отдела, канд. техн. наук, доцент каф.СМ-2 «Аэрокосмические системы» МГТУ. – Стр. 335
Никифоров Александр Витальевич. МГТУ, студ. АК, ИУ-1. – Стр. 248, 260
Николаев Андрей Анатольевич. МГТУ, студент АК, каф. ФН-11. – Стр. 457
Николашин Дмитрий Викторович. НПОМ, ведущий конструктор. – Стр. 502
Никонов Анатолий Викторович (Словения). UL, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 72
Новиков Павел Валерьевич. МГТУ, студент фак. АК, каф. СМ-2. – Стр. 297
Новиков Андрей Евгеньевич. НПОМ, зам. нач. ЦКБМ, канд. техн. наук. – Стр. 75
Новосёлов Александр Сергеевич. МГТУ, студент ПС, каф. ИУ-2. – Стр. 190
Носачев Павел Сергеевич. МГТУ, студент каф. СМ-2. – Стр. 289
Hostnik Rok (Словения). Студент Люблянского университета. – Стр. 72
Овчинников Владимир Анатольевич. МГТУ, доктор техн. наук, проф. ИУ-6. – Стр. 460
Оленичева Анна Александровна. НПОМ, инженер. – Стр. 149
Омельченко Ирина Николаевна. МГТУ, декан фак. ИБМ, доктор техн. наук, доктор эконо. наук, профессор. – Стр. 7, 24, 32
Осипов Борис Николаевич. ОКБ Вымпел, начальник лаборатории. – Стр. 448
Палкин Максим Вячеславович. НПОМ, инженер, аспирант каф. ИУ-1, выпускник фак. АК МГТУ. – Стр. 197, 408, 478
Паньшин Василий Николаевич. МГТУ, студент АК, каф. СМ-2. – Стр. 472
Партола Игорь Станиславович. ГКНПЦ, КБ "Салют", зам. нач. отдела. – Стр. 441
Пасечников Константин Алексеевич. МГТУ, аспирант ИУ-6. – Стр. 207
Пацутина Анна Юрьевна. МГТУ, ст. препод. каф. ФЛ-2. – Стр. 511
Петрикевич Борис Борисович. МГТУ, доктор техн. наук, проф. каф. СМ-1. – Стр. 505
Петровский Владимир Степанович. НПОМ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. – Стр. 503
Плавник Геннадий Гилярьевич. НПОМ, нач. НИО, канд. техн. наук, доц. кафедры ИУ-1. – Стр. 478, 493, 503
Плахов Дмитрий Викторович. НПОМ, ведущий инженер. – Стр. 393
Плотников С.А. ЗАО «Анкон-Т», Москва. – Стр. 330
Плюснин Андрей Владимирович. НПОМ, ст. научн. сотр., канд. физ.-мат. наук, доцент каф. ФН-11 МГТУ. – Стр. 485
Подоплёкин Юрий Федорович. ЦНИИ «Гранит», ген. директор. – Стр. 418
Подсвилов Константин Николаевич. МГТУ, студ. АК, каф. СМ-2. – Стр. 92
Поляченко Владимир Абрамович. НПОМ, советник генерального директора, канд. техн. наук, доцент МГТУ. – Стр. 56
Попов Борис Глебович. МГТУ, фак. СМ, доктор техн. наук, проф. каф. СМ-2. –

Стр. 360, 454
<i>Попов Юрий Иванович.</i> МАИ, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 441
<i>Прокopenко Андрей Иванович.</i> ОКБ Вымпел, инж. 1 категории. – Стр. 448
<i>Прокошев Илья Николаевич.</i> НПОМ, начальник группы. – Стр. 478
<i>Пронин Андрей Васильевич.</i> ЗАО МТ, канд. техн. наук. – Стр. 503
<i>Просветов Валерий Иванович.</i> НПОМ, главный специалист отдела. – Стр. 465
<i>Прохорчук Юрий Алексеевич.</i> НПОМ, нач. отделения, канд. физ. мат. наук, доц. ИУ-1. – Стр. 485
<i>Пугаченко Сергей Евгеньевич.</i> ГКНПЦ, гл. спец. направления. – Стр. 441
<i>Пупков Константин Александрович.</i> МГТУ, доктор техн. наук, профессор, зав. каф. ИУ-1. – Стр. 472
<i>Пучков Владимир Михайлович.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доц. – Стр. 448
<i>Пшенинов Борис Васильевич.</i> ОКБ Вымпел, зам. начальника отдела. – Стр. 448
<i>Рабинский Лев Наумович.</i> МАИ, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 489
<i>Ральченко Виктор Григорьевич.</i> Институт Общей Физики РАН, зав. лабораторией, канд. физ.-мат. наук. – Стр. 327, 330
<i>Rešnik Janez</i> (Словения). Студент Люблянского университета. – Стр. 72
<i>Реш Георгий Фридрихович.</i> НПОМ, первый зам. начальника отделения, канд. техн. наук, доцент каф. СМ-2. – Стр. 300, 383
<i>Романов Валерий Серафимович.</i> Центр «Бизнес-развитие». – Стр. 503
<i>Романовский Александр Сергеевич.</i> МГТУ, рук. лаб. каф. ИУ-6. – Стр. 562
<i>Ромейков Михаил Юрьевич.</i> МГТУ, студент фак. АК, каф. СМ-2. – Стр. 445
<i>Руденко Юрий Михайлович.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доц. ИУ-6. – Стр. 460
<i>Русаков Роберт Олегович.</i> МГТУ, студент фак. АК, ИУ-1. – Стр. 251, 260
<i>Рябов Дмитрий Анатольевич.</i> НПОМ, нач. отдела, выпускн. АК. – Стр. 398
<i>Савельев Виктор Владимирович.</i> НПОМ, гл. констр. направления, доктор техн. наук, профессор каф. ИУ-6 МГТУ. – Стр. 155, 199, 209, 222, 465
<i>Самойлин Александр Ростиславович.</i> МГТУ, студ. АК, каф. ИУ-1. С 2006 инженер НПОМ. – Стр. 251
<i>Сапрунов Иван Владимирович.</i> МГТУ, студ. АК, каф. ИУ-1. – Стр. 72, 91
<i>Светличная Светлана Валентиновна.</i> Администрация г. Реутова, начальник отдела. – Стр. 503
<i>Севастьянов Александр Александрович.</i> МИТ, ведущий инженер. – Стр. 441
<i>Северцев Николай Алексеевич.</i> ВЦ РАН, нач. отд., доктор техн. наук, проф. – Стр. 503
<i>Северюков Александр Петрович.</i> МГТУ, студ. АК, каф. СМ-2, инж. НПОМ. – Стр. 83
<i>Сенькин Александр Васильевич.</i> МГТУ, канд. техн. наук, доц. каф. ИУ-1. – Стр. 472
<i>Симоньянц Ростислав Петрович.</i> МГТУ, декан АК, канд. техн. наук, доц. СМ-2. – Стр. 10, 67, 83, 168, 185, 246, 251, 314, 412, 445, 478, 489, 505
<i>Сипович Владимир Альфонсович.</i> НПОМ, инженер 1 категории. – Стр. 403

Скиба <i>Георгий Георгиевич</i> . МГТУ, доктор техн. наук, проф. СМ-3. – Стр. 485
Скоробатюк <i>Виктор Васильевич</i> . НПОМ, зам. ген. директора. – Стр. 418
Смирнова <i>Анна Владимировна</i> . МГТУ, аспирантка. – Стр. 441
Собко <i>Никита Владимирович</i> . НПОМ, зам. нач. договорной службы. – Стр. 495
Соколов <i>Евгений Васильевич</i> . МГТУ, зав. каф. ИБМ-5, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 495
Соколов <i>Андрей Павлович</i> . МГТУ, студент фак. АК, каф. ИУ-1. – Стр. 472
Соколов <i>Александр Павлович</i> . МГТУ, студент фак. АК, каф. ФН-11. – Стр. 454
Соловьев <i>В.В.</i> Российский государственный горный университет. – Стр. 330
Солодовников <i>Владимир Игоревич</i> . МГИЭМ, инженер, аспирант. – Стр. 460
Солодовников <i>Игорь Владимирович</i> . МГИЭМ, зав. кафедрой, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 460
Солодовникова <i>Станислава Юрьевна</i> . МГТУ, асс. СМ-2. – Стр. 122, 348
Соломаха <i>Сергей Григорьевич</i> . ГКНПЦ, вед. инж.-констр. – Стр. 441
Солопов <i>Юрий Всеволодович</i> . НПОМ, начальник отдела. – Стр. 246, 248,
Станкевич <i>Игорь Васильевич</i> . МГТУ, доктор техн. наук, проф. каф. ФН-2. – Стр. 457
Stanković <i>Stas</i> (Словения). Студент Люблянского университета. – Стр. 72
Страхова <i>Екатерина Анатольевна</i> . МГТУ, студ. АК, ФН-11. – Стр. 454
Строкова <i>Елена Вадимовна</i> . МГТУ, главный бухгалтер, канд. эконом. наук – Стр. 45
Сурков <i>Дмитрий Юрьевич</i> . МГТУ, асп. каф. ИБМ-5. – Стр. 495
Суханов <i>Эдуард Дмитриевич</i> . НПОМ, гл. специалист (до 2007 г.), канд. техн. наук, доцент кафедры ИУ-1 МГТУ. – Стр. 182, 246, 478
Сюзев <i>Владимир Васильевич</i> . МГТУ, доктор техн. наук, проф., зав. каф. ИУ-6. – Стр. 511
Талызина <i>Евгения Владимировна</i> . Вице-президент Союза ученых и инженеров имени академика В.Н. Челомея, канд. экон. наук, доц. – Стр. 450
Талызин <i>Владимир Николаевич</i> . Союз ученых и инженеров имени академика В.Н. Челомея, директор, доктор эконом. наук, профессор. – Стр. 418, 450
Тарарин <i>Лев Николаевич</i> . НПОМ, начальник отдела. – Стр. 445
Тарасов <i>Алексей Викторович</i> . МГТУ, аспирант каф. ИУ-6. – Стр. 218
Телегин <i>Илья Николаевич</i> . МГТУ, студент фак. ПС, каф. ИУ-2. – Стр. 190
Телков <i>Владимир Викторович</i> . НПОМ, зам. начальника ЦКБМ. – Стр. 417
Теплова <i>Т.Б.</i> Российский государственный горный университет. – Стр. 330
Тетиор <i>Александр Николаевич</i> . Доктор эконом. наук, профессор. – Стр. 501
Тимаева <i>Ирина Владимировна</i> . МГТУ, студентка фак., каф. ИУ-1. – Стр. 478
Тимонин <i>Виктор Алексеевич</i> . ООО «Специнвтехника», доктор хим. наук. – Стр. 503
Тимофеев <i>Валентин Викторович</i> . МГТУ, канд. техн. наук, доц. каф. ИУ-6. –

Стр. 460
Точилев Леонид Сергеевич. НПОМ, зам. директора ОЗМ, канд. физ.-мат. наук, учёный секретарь НТС. – Стр. 13, 62, 460, 503
Троицкий Артем Владимирович. МГТУ, аспирант каф. ФН-2. – Стр. 457
Трофимов Александр Геннадьевич. НПОМ, инж. 2 катег., вып. АКФ. – Стр. 465
Труфанов Юрий Николаевич. ГКНПЦ, зам. ген. директора НПО «Молния». – Стр. 426
Туманов Анатолий Васильевич. НПОМ, вед. науч. сотр. (до 2006 г.), канд. техн. наук, доц. СМ-2 МГТУ. – Стр. 246, 248, 412, 478, 501
Туркин Сергей Александрович. МГТУ, студ. АК, каф. ИУ-6, инж. НПОМ. – Стр. 222
Тушев Олег Николаевич. МГТУ, доктор техн. наук, профессор, зав. каф. СМ-2 «Аэрокосмические системы». – Стр. 16, 320, 489
Тушева Галина Михайловна. МГТУ, канд. техн. наук, доц. ФН-3. – Стр. 489
Уваров С.В. ООО «Феран». – Стр. 327
Устюжанин Александр Дмитриевич. МГТУ, студент каф. ИУ-1. – Стр. 472
Усюкин Валерий Иванович. МГТУ, фак. СМ, доктор техн. наук, профессор каф. «Космические аппараты и ракеты-носители». – Стр. 505
Федоров Игорь Борисович. МГТУ, Ректор, член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 18, 422, 505
Федоров Валентин Александрович. РИ, доктор физ.-мат. наук. – Стр. 445
Филимонов Николай Борисович. МГТУ, канд. техн. наук, доц. каф. ИУ-1. – Стр. 472, 478
Формалёв Владимир Федорович. МАИ, доктор физ.-мат. наук, профессор. – Стр. 457
Фролов Андрей Борисович. Доктор мед. наук, профессор. – Стр. 502
Фролов Константин Васильевич. Академик РАН, директор ИМАШ РАН, президент Союза ученых и инженеров им. академика В.Н. Челомея, зав. каф. РК-2 МГТУ, доктор техн. наук, проф. – Стр. 424
Хабаров Павел Алексеевич. МГТУ, аспирант каф. ИУ-6. – Стр. 460
Хаммуд А. (Сирия). МГТУ, аспирант каф. ИУ-1. – Стр. 472
Ходырев Александр Николаевич. Научоград РФ Реутов, Глава города, канд. юр. наук – Стр. 419, 501
Хомяков Михаил Алексеевич. НПОМ, начальник отделения. – Стр. 13, 418
Хромушкин Анатолий Васильевич. НПОМ, первый зам. генерального директора, канд. физ.-мат. наук, доцент каф. СМ-2 МГТУ. – Стр. 509, 510
Цепляев Алексей Николаевич. Адм. г. Реутова, канд. филос. наук – Стр. 503
Цуриков Юрий Александрович. ГКНПЦ, главный научный сотрудник, доктор техн. наук, профессор. – Стр. 417, 441, 507,
Чернышова Т.А. ИММ РАН. – Стр. 327
Черствова Елена Борисовна. МГТУ, студ. АК, каф. ИУ-1. – Стр. 290
Чифириов Иван Ефимович. НПОМ, инженер I-ой категории. – Стр. 393, 478
Чугунков Владимир Васильевич. МГТУ, доктор техн. наук, проф. СМ-8. –

Стр. 448
Чугунов Евгений Евгеньевич. НПОМ, инженер 2 категории. – Стр. 478, 546
Чурсин Роман Сергеевич. МГТУ, студ. АК, СМ-2, инж. НПОМ. – Стр. 260, 445
Чыонг Данг Кхоа (Китай). МГТУ, асп. ИУ-1. – Стр. 472
Шалгинский Олег Валерьевич. МГТУ, асп. ИБМ-6. – Стр. 495
Шатский Михаил Александрович. МГТУ, канд. техн. наук, доц. каф. ИУ-1. – Стр. 290
Шивохин Максим Евгеньевич. МГТУ, студент каф. СМ-2. – Стр. 87
Широков Павел Алексеевич. НПОМ, зам. генерального директора. – Стр. 502
Шиян Дина Николаевна. МГТУ, студентка 7 курса каф. СМ-2. – Стр. 296
Шмаков Евгений Вячеславович. МГТУ, студент каф. ИУ-6. – Стр. 460
Шувалов Роман Игоревич. МГТУ, студент (выпускник 2007) фак. АК, каф. ФН-11, инженер НПОМ. – Стр. 231, 277, 278, 367, 457
Щеглов Георгий Александрович. МГТУ, канд. физ.-мат. наук, доц. СМ-2. – Стр. 93, 286, 363, 454, 536,
Ю Сун Чул (Корея). Аспирант МАИ. – Стр. 441
Юдин Евгений Григорьевич. МГТУ, первый проректор – проректор по учебной работе, канд. техн. наук, доцент. – Стр. 505
Юрлова Наталия Алексеевна. ИМСС УрО РАН, ученый секретарь, канд. физ.-мат. наук, доцент. – Стр. 527
Яковлев Андрей Иванович. МГТУ, доктор техн. наук, профессор каф. ИУ-1. – Стр. 55, 246, 412, 478, 501

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
III ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ», Реутов, 23 мая 2007	
Предисловие к материалам III ВНТК-2007	7
Пленарное заседание:	
20 лет Аэрокосмическому факультету	
<i>Ефремов Г.А.</i> НПО машиностроения высоко ценит участие учёных и студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана в жизни предприятия	8
<i>Фёдоров И.Б., Симоньянц Р.П.</i> 20-летний опыт эффективного использования интеллектуального потенциала студентов Аэрокосмического факультета.....	10
<i>Минаев Ю.И., Хомяков М.А., Куранов Е.Г., Точилев Л.С.</i> Своих специалистов предприятие совместно с МГТУ готовит у себя.....	13
<i>Тушев О.Н.</i> Научные направления кафедры, основанной академиком В.Н. Челомеем	16
Экономика, инновационные технологии	
<i>Федоров И.Б.</i> Деятельность МГТУ им. Н.Э. Баумана в области научных инноваций	18
<i>Омельченко И.Н.</i> Подготовка в МГТУ им. Н.Э. Баумана специалистов инновационного менеджмента в сфере высоких технологий	24
<i>Бунак В.А., Григорьев А.Е.</i> Методические принципы формирования стратегического управления промышленным предприятием	34
<i>Акопов В.С., Малинин В.Л.</i> Инновационная инфраструктура ФРГ	38
<i>Строкова Е.В.</i> Разработка системы интегрированного управленческого учета научно-образовательных комплексов	45
<i>Яковлев А.И.</i> Об институциональном управлении конкурентоспособностью и научно-инновационной деятельностью	55
<i>Поляченко В. А.</i> Инновационные технологии «НПО машиностроения»: традиции и лидерство	56
<i>Точилев Л.С.</i> Закрепление молодых специалистов на предприятиях оборонно-промышленного комплекса	62
<i>Эмри И.О., Симоньянц Р.П.</i> Совместная международная деятельность Бауманского и Люблянского университетов в сфере образования и инноваций	67
<i>Harih G., Stankovic S., Kozoderc S., Hostnik R., Pecnik J., Майорова В.И., Никонов А.В., Санрунов И.В.</i> Студенты Словении – участники московского международного семинара по исследованию космоса ...	72

Проектирование аэрокосмических систем

<i>Новиков А.Е., Иванов М.Ю.</i> Анализ работоспособности топливной системы изделий ракетно-космической техники на заданной траектории полета	75
<i>Клюев Ю.И.</i> Способ получения систем дифференциальных уравнений в канонической форме для задач статики и динамики многослойных конструкций	79
<i>Севрюков А.П., Симоньянц Р.П.</i> Расчет эксцентриситета тяги	83
<i>Шивохин М.Е.</i> Моделирование процесса соударения птицы с конструкцией летательного аппарата	87
<i>Аринчев С.В., Боровинский В.В.</i> Анализ влияния теплоизоляционного покрытия на звукоизолирующие характеристики головного обтекателя	89
<i>Герасименко В.О., Грибков В.А.</i> Методы решения задач гидроупругости с использованием САЕ-технологий	90
<i>Сапрунов И.В., Научный руководитель: Эмри И.О.</i> К проекту экспериментальной установки для исследования с помощью оптических средств и компьютера деформированного состояния образцов	91
<i>Подсвилов К.Н.</i> К построению инерционно-массовой модели космического аппарата	92

Математическое моделирование

<i>Щеглов Г.А.</i> Численное решение связанных задач гидроупругости с использованием метода вихревых элементов	93
<i>Димитриенко Ю.И., Воронцова М.А.</i> Численное моделирование осесимметричной задачи кумуляции	103
<i>Димитриенко Ю.И., Иванов М.Ю.</i> Моделирование нелинейных динамических процессов переноса в гетерогенных системах	110
<i>Дмитриев С.Н., Калугин И.Ю.</i> Построение сокращённой динамической модели в стандартной форме метода конечного элемента	117
<i>Дмитриев С.Н., Солодовникова С.Ю.</i> Конечно-элементное моделирование статического и динамического поведения сетчатого стеклополотна	122
<i>Волосюк Е.А., Горский В.В.</i> Исследование основных закономерностей уноса массы графита в высокотемпературном газовом потоке ...	128
<i>Лаврентьева А.Н., Горский В.В.</i> Расчет параметров уноса массы стеклопластика на осесимметричном затупленном теле, обтекаемом высокоскоростным газовым потоком	134
<i>Ватолина Е.Г., Жулябин Д.Н., Оленичева А.А.</i> Численное решение уравнений ламинарного воздушного пограничного слоя в окрестности критической точки	149

Динамика движения и управление

<i>Белоглазов С.А., Савельев В.В.</i> Автоматизация анализа данных, получаемых в результате испытаний навигационных систем БПЛА ...	155
---	-----

<i>Гассельблат А.А., Желаннов Ю.Ю., Красников Н.Н.</i> Разработка базового модуля комплекса ситуационного моделирования	161
<i>Симоньянц Р.П.</i> Квантовые и синергетические свойства релейных динамических систем	168
<i>Аверьянов П.В., Суханов Э.Д.</i> Разработка аппаратно-программных средств интерактивного учебно-исследовательского стенда	182
<i>Кузнецов А.Н., Симоньянц Р.П.</i> Визуализация свободных вращений космического аппарата	185
<i>Новосёлов А.С., Телегин И.Н.</i> Восстановление траектории транспортных средств после столкновения	190
<i>Палкин М.В.</i> Управление угловым положением ЛА	197

Компьютерные технологии

<i>Савельев В.В., Мартынов В.И., Иванов И.А.</i> Гибридный метод распознавания многоспектральных изображений	199
<i>Иванова Г.С., Пасечников К.А.</i> Генерация оптимальных структур данных для алгоритмов решения комбинаторных задач на графах	207
<i>Мартынов В.И., Савельев В.В., Иванов И.А.</i> Обнаружение и сопровождение кораблей по снимкам ДЗЗ в условиях сложной фоновой обстановки с использованием методов распознавания образов	209
<i>Иванова Г.С., Тарасов А.В.</i> Распознавание типовых функциональных компонентов программы по операционно-логической истории выполнения	218
<i>Савельев В.В., Туркин С.А.</i> Распознавание объектов на оптическом изображении в условиях возможного изменения их ориентации	222
<i>Елизаветин И.В., Шувалов Р.И.</i> Решение задачи развертки интерферометрической фазы на основе байесовского подхода	231
<i>Ерёмин О.Ю.</i> Нормализация изображений аэрофотосъемки	244

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Реутов, 23 мая 2006

Предисловие к материалам НТК-2006	245
<i>Симоньянц Р.П., Туманов А.В., Суханов Э.Д., Яковлев А.И., Лисицын В.Л., Солопов Ю.В.</i> О деятельности студенческой исследовательской лаборатории аэрокосмического факультета	246
<i>Солопов Ю.В., Никифоров А.В., Туманов А.В.</i> О студенческой разработке имитационной модели движения малого космического аппарата	248
<i>Симоньянц Р.П., Лисицын В.Л., Русаков Р.О., Самойлин А.Р., Лебедев А.С.</i> Моделирование пространственной ориентации и стабилизации малого космического корабля	251

<i>Чурсин Р.С., Баздарев М.К., Балашов И.В., Воеводин А.В., Никифоров А.В., Русаков Р.О.</i> Разработка космической системы дистанционного зондирования Земли высокого разрешения	260
<i>Лисицын В.Л., Аверьянов П.В.</i> Выведение космического аппарата с двигателем малой тяги на ГСО	266
<i>Лисицын В.Л., Баздарев М.К.</i> Принцип управления траекторией движения	270
<i>Бушуев А.Ю., Боголюбова Е.Н.</i> Идентификация теплофизических характеристик объекта в одномерном нелинейном уравнении теплопроводности	273
<i>Шувалов Р.И., Крылова В.В., Воскобойник А.С., Елизаветин И.В., Краснов И.К.</i> Методы фильтрации радиолокационных изображений	277
<i>Шувалов Р.И., Елизаветин И.В.</i> Распознавание нефтяных пятен на морской поверхности по данным дистанционного зондирования Земли из космоса	278
<i>Щеглов Г.А., Короткий С.А.</i> Исследование движения незакрепленной динамической системы с использованием пакета компьютерной алгебры	286
<i>Носачев П.С., Ключев Ю.И.</i> Применение матричных рядов для исследования переходных процессов упругих конструкций КЛА	289
<i>Черствова Е.Б., Шатский М.А.</i> Программный комплекс для расчёта алгоритма адаптивной системы стабилизации в продольном канале противокорабельной крылатой ракеты	290
<i>Ананьев П.А., Благоев А.В.</i> Пилотируемый космический аппарат многоразового использования	293
<i>Грибков В.А., Шиян Д.Н.</i> Использование параметрических эффектов для стабилизации космических аппаратов	296
<i>Новиков П.В., Вартанов Т.Р.</i> Исследование отделения головного обтекателя	297
<i>Айдин В.С., Кострикин В.Н.</i> Стенд имитации движения носителя крылатой ракеты в составе комплекса полунатурного моделирования	298

**II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»,
Реутов, 25 мая 2005**

Предисловие к материалам II ВНТК-2005	299
Пленарное заседание: Интеграционные процессы в образовании, науке и производстве	
<i>Фёдоров И.Б.</i> МГТУ им. Н.Э. Баумана – НПО машиностроения: Интеграция науки и образования	300
<i>Фёдоров И.Б.</i> МГТУ им. Н.Э. Баумана – НПО машиностроения: Интеграция науки и образования	301

<i>Ефремов Г.А.</i> Путь НПО машиностроения к созданию вертикально-интегрированной структуры	305
<i>Бунак В.А.</i> Обеспечение устойчивого функционирования предприятий аэрокосмической отрасли в современных экономических условиях	309
<i>Мартынов В.И.</i> Совместно со студентами мы работаем над проблемами предприятия	312
<i>Дергачев А.А.</i> Участие студентов – важная особенность конференции «Аэрокосмические технологии»	313
<i>Симоньянц Р.П.</i> Аэрокосмический факультет готовит элитные кадры для «НПО машиностроения»	314

Прикладные задачи проектирования. Материалы и технологии

<i>Ватолина Е. Г., Горский В.В.</i> Анализ погрешностей, вносимых в расчет конвективного теплообмена на поверхности затупленных тел при использовании двумерного подхода	317
<i>Березовский А.В., Тушев О.Н.</i> Чувствительность собственных частот и форм колебаний конструкции к вариациям её параметров ...	320
<i>Бушуев А.Ю., Мелкумян Л.В.</i> Способ построения функции чувствительности в задаче оптимизации упругих конструкций	323
<i>Аринчев С.В.</i> Упругие колебания летательного аппарата с силовым гироскопическим элементом	326
<i>Чернышова Т.А., Ральченко В.Г., Ашкинази Е.Е., Уваров С.В., Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И.</i> Алюмоматричные композиционные материалы с наноразмерными модификаторами: структура и трибологические свойства	327
<i>Ашкинази Е.Е., Ральченко В.Г., Козлов А.В., Коньшин А.С., Теплова Т.Б., Плотников С.А., Соловьев В.В.</i> Микрошлифование алмазных пластин, выращенных в СВЧ плазме, до наноразмерных величин микронеровности	330

Динамика и прочность конструкций

<i>Никитенко В.И., Ватрухин Ю.М., Баранов М.Л.</i> Расчетные исследования аэроупругости ЛА с раскрывающимся крылом	335
<i>Клюев Ю.И.</i> Использование функций от матриц для исследования переходных процессов при динамическом нагружении упругих конструкций	338
<i>Дмитриев С.Н., Солодовникова С. Ю.</i> Контактная задача о равновесии пластины, свернутой в цилиндр	348
<i>Клюева Г.П.</i> Условия сопряжения многослойных оболочек вращения различной геометрии с кольцевыми подкрепляющими элементами	352
<i>Воскобойник А.С., Попов Б.Г.</i> Расчёт угловых сварных швов методом пружинной аналогии	360

Математическое моделирование

<i>Щеглов Г.А.</i> Численный метод для моделирования гидроупругой динамики старта двухсредного летательного аппарата	363
--	-----

<i>Шувалов Р.И., Елизаветин И.В.</i> Автоматизация процесса корреляции радиолокационных изображений при создании цифровой модели рельефа земной поверхности стереометрическим методом	367
<i>Димитриенко Ю.И., Захаров А.А., Миронов Ю.М.</i> Численное моделирование трехмерных нестационарных газодинамических процессов в канале воздухозаборника СПВРД	379
<i>Димитриенко Ю.И., Иванов М.Ю., Реш Г.Ф., Конюков В.В.</i> Моделирование нестационарных процессов в демпфирующих системах с фазовыми превращениями	383
<i>Колготин А.В.</i> Применение принципиального компонентного анализа для обратных задач на примере идентификации смеси по спектральным данным лидарного зондирования	387
Системы и процессы управления	
<i>Виленский В.В., Плавник Г.Г., Рябиков В.С., Чифилов И.Е., Плахов Д.В.</i> Разработка программно-аппаратного обеспечения стенда полунатурного моделирования углового движения КА	393
<i>Рябов Д.А.</i> Способы повышения точности начальной азимутальной выставки инерциальной навигационной системы	398
<i>Аверьянов П.В., Сипович В.А.</i> Расчёт уставок для перевода космического аппарата на заданную орбиту	403
<i>Палкин М.В.</i> Разработка системы ориентирования некоторых типов беспилотных летательных аппаратов	408
<i>Яковлев А.И., Симоньянц Р.П., Туманов А.В.</i> Адаптронные системы в космической технике	412

**ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ», ПОСВЯЩЁННАЯ 90-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА В.Н. ЧЕЛОМЕЯ**
Реутов-Москва, 24-25 мая 2004

Предисловие к материалам Первой МНТК-2004.....	417
Пленарное заседание:	
Научно-инженерная школа академика В.Н. Челомея	
<i>Ефремов Г.А.</i> Школа В.Н. Челомея – это высокий научный уровень инженерных решений	420
<i>Федоров И.Б.</i> Творческая деятельность академика В.Н. Челомея в МГТУ им. Н.Э.Баумана	422
<i>Фролов К.В.</i> Мы в долгу перед В.Н. Челомеем	424
<i>Дермичев Г.Д., Медведев А.А., Труфанов Ю.Н.</i> Челомей в Филях	426
<i>Драгун Д.К., Молчанов В.Г.</i> Академик В.Н. Челомей и ОКБ «Вымпел»	432

<i>Козлов Ю.С.</i> Сохранение и развитие научно-технического потенциала и активная инновационная деятельность – главные задачи развития Реутова – наукограда РФ	438
---	-----

<i>Ефремов Г.А.</i> Заключительное слово на первом пленарном заседании МНТК-2004	439
--	-----

ОБЗОР ДОКЛАДОВ ПЕРВОЙ МНТК-2004

Проблемы проектирования и создания аэрокосмических систем

Проектирование ракет	441
----------------------------	-----

Ю.А. Цуриков, В.Д. Володин, С.Г. Соломаха, Н.М. Лотарёв, А.В. Смирнова; Ю.А. Цуриков, С.Е. Пузаченко, А.А. Горбань; Д.В. Морозов; И.С. Партола; И.И. Ибраева; И.И. Ибраева, А.С. Кудинов; С.А. Белавский, С.В. Антоненко; В.П. Георгиевский, А.А. Севастьянов; Ю.Сун Чул (Корея) и Ю.И. Попов; Atul D. Rane (Индия) и В.М. Киселёв.

Аэрокосмические системы и КЛА	445
-------------------------------------	-----

А.Г. Виноградов, А.М. Елисеев; Б.И. Кушнер, С.М. Беднов, И.А. Кочнев; Е.Г. Ларин; М.Ю. Ромейков, Р.С. Чурсин, А.В. Воеводин, А.Н. Богатов, С.В. Гайдукевич, М.Ю. Захарова, М.К. Баздарев, Р.П. Симоньянц, Е.И. Журавлёв, В.Ф. Матвеев, Л.Н. Тарарин; В.А. Федоров, В.В. Кирсанова; В.В. Витер.

Стартовые комплексы. Системы амортизации:	448
---	-----

В.С.Абакумов, Д.К. Драгун, А.В.Жарков, А.И. Забегаев; В.С. Абакумов, Д.К. Драгун, А.И. Забегаев, В.И.Нефедов, Н.В Люкевич; А.В. Грицаенко, А.И. Забегаев, В.В. Захаров, Б.В. Пшеннов; А.В. Жарков; Л.А. Лаврова, Б.Н.Осипов, А.И. Прокопенко; В.А. Игрицкий, В.М. Пучков, В.В. Чугунков; А.В. Кочетков.

Прикладные задачи математического моделирования

Динамика упругих конструкций	451
------------------------------------	-----

О.В. Кузнецов; Ю.И. Ключев; Ю.И. Виноградов, Ю.А. Гусев; Ю.И. Виноградов, Ю.А. Гусев, В.С. Золотухин; С.Н. Дмитриев, А.П. Гонтюк; А.В. Беляев.

Численные методы в механике	454
-----------------------------------	-----

Ю.И. Димитриенко, А.В. Власкин, Ю.В. Беленовская, А.Ю. Дзаганя; Ю.И. Димитриенко, М.А. Воронцова, Е.А. Страхова; Ю.И. Димитриенко, С.Н. Ануфриев, С.Г. Изотова; Ю.И. Димитриенко, А.П. Соколов, А.И. Каишаров; Ю.И. Димитриенко, А.А. Веретенников и А.С. Корепанов; Г.А. Щеглов; Б.Г. Попов, А.Н. Жуков.

Прикладная математика	457
-----------------------------	-----

И.В. Станкевич и Ле Шонг Тунг (Вьетнам); А.В. Котович и Г.А. Несеенко; С.А. Колесник, Е.Л. Кузнецова, В.Ф. Формалёв; А.В. Троицкий; И.К. Краснов, А.А. Николаев; И.В. Елизаветин, Р.И. Шувалов.

Компьютерные системы и технологии

Информационные технологии в приложениях	460
<i>И.В. Солодовников; И.В. Солодовников, А.Ф. Зародов; А.Н. Нестеренко; В.И. Солодовников; В.А. Овчинников и П.А. Хабаров; В.В. Тимофеев и П.П. Кукса; М. А. Бакулина; Л.С. Точило; Ж.А. Барабаш; А.А. Домосканов; Ю.М. Руденко и Е.В. Шмаков; Ю.М. Руденко, П.В. Мельдианов, Т.В. Захаровская.</i>	

Обработка полётной информации и изображений	465
<i>А.М. Башарин; С.Ю. Иванов; В.В.Савельев; А.Г. Трофимов, О.С. Дмитриева, В.В. Савельев, А.И. Бурганский, М.В. Большаков, Л.М. Жебрак, С.Г. Милюченко; О.С. Дмитриева, А.Г. Трофимов, В.В. Савельев, А.И. Бурганский, М.В. Большаков, Л.М. Жебрак, С.Г. Милюченко; В.В. Савельев, А.В. Власкин; В.В.Савельев, И.В. Качинский; В.В.Савельев, С.Н. Ануфриев; В.В.Савельев, А.А. Веретенников; С. А. Белоглазов, В.В. Савельев, М.В. Большаков, Л.М. Жебрак, С.Г. Милюченко, В. И. Просветов, А.Г. Трофимов, О.С. Дмитриева; А.С. Дудкин, В.В. Савельев, А.И. Бурганский, М.В. Большаков, Л.М., Жебрак, С.Г. Милюченко, А.Г. Трофимов, О.С. Дмитриева, С.А. Белоглазов.</i>	

Динамика движения и системы управления

Новые алгоритмы управления	472
<i>К.А. Пупков; К.А. Пупков, К.А. Неусыпин, Чыонг Данг Кхоа (Китай); Abkarian Pier (Франция); В.В.Евстифеев, А. Хаммуд (Сирия); А.В. Сенькин; А.А. Лунев; И.В. Белоусов, В.Н. Панышин; А.Д. Устюжанин; Н.Б. Филимонов, А.П. Соколов.</i>	

Системы управления ЛА	478
<i>Н.Б. Филимонов; В.Ю. Лапин, А.В. Туманов, А. И. Яковлев; И.В. Белоусов, Г.Г. Плавник, Н.Б. Филимонов; С.Н. Друзькин; С.Н. Друзькин, В.Н. Кострикин, И.Н. Прокошев; В.В. Виленский, В.Ф. Матвеев, Е.Е. Чугунов; Д.Н. Кирющенков, Э.Д. Суханов; А.В. Кулаков, М.В. Палкин; С. М. Асатуров; Р.П. Симоньянц, И.Е. Чифилов, И.В. Тимаева; Т.А. Бычкова, Р.П. Симоньянц, И.Е. Чифилов.</i>	

Динамика управляемого движения	485
<i>Ю.А. Прохорчук; Г. Г. Скиба; Ву Нгок Хое (Вьетнам), Г. Г. Скиба; Е. Г. Ватолина, В.В. Горский; Д.А. Забарко, В.П. Котенев; Л.А. Бондаренко, А.В. Братчев, Т.Р. Вартанов, А.Н. Лаврентьева, А.В. Плюнин.</i>	

Нелинейная механика и теория нелинейных процессов управления ..	489
<i>А.Г. Горшков, А.Л. Медведский, Л.Н. Рабинский; И. Эмри (Словения); О.Н. Тушев, С.Э. Зайцев; О.Н. Тушев, А.В. Коростелев; Р.П. Симоньянц; А.В. Коровайцев, Н.С. Коровайцева; С.В. Аринчев; С.В. Аринчев, Д.А. Мещанкин; Г.М. Тушева, Н.В. Борохова, Г.М. Максимов; В.А. Грибков.</i>	

Вопросы экономики и менеджмента

Проблемы экономического развития и управления деятельностью предприятий ОПК	495
<i>С. Ivanov-Trotignon (Франция); В.И. Мартынов; В.А. Бунак; В.А. Бунак, А.Е. Григорьев; Н.К. Нестерова; Н.В. Собко; Е.В. Соколов, Д.Ю. Сурков; П.А. Дрогозов, О.В. Шалгинский.</i>	

Инновационные процессы и социально- экономическое развитие

Инновационные процессы и социально- экономическое развитие ...	501
<i>В.Я. Любовный; А.Н. Тетиор; В.Г. Баженов; А.И. Яковлев, А.В. Туманов и Н.А. Герасимов.</i>	
Инновационные проекты аэрокосмических технологий:	502
<i>А.Е. Буравин, П.А. Широков и М.Г. Красногорский; С.Э.Зайцев, Д.В.Николашин.</i>	
Новые информационные технологии	502
<i>В.И. Мартынов; А.М. Елисеев и А.Г. Виноградов; А.Б Фролов; К.Ю. Лакунин и В.А. Варчак.</i>	
Проекты энергосберегающих технологий	503
<i>А.В. Пронин и Н.В. Комаров; В.В. Борячѣк; В.А. Тимонин и В.А. Калинин; Е.М. Зоркин; В.С. Романов.</i>	
Проекты по направлениям жизнедеятельности	503
<i>А.И. Дивеев; Л.С. Точилов и Е.С. Крылов; С.В. Светличная; А.Н. Цепляев; Г.С. Салыхов; А.А. Галицын; А.И. Вилков.</i>	
Исследования по развитию городов	503
<i>Н.А. Северцев; Ю.П. Григорьев; А.В. Ильичев; В.А. Каиштанов; В.С. Петровский.</i>	

Новые технологии подготовки специалистов

Система подготовки инженеров для предприятий аэрокосмической отрасли	505
<i>И.Б. Федоров, Р.П. Симоньянц; Е.Г. Юдин; В.В. Зеленцов; В.В. Зеленцов, Ю.А.Цуриков, Б.Б. Петрикевич, В.И. Усюкин; Е.Г. Куранов; Е.Г. Юдин, К.Е. Демихов, В.Н. Герди; А.В. Хромушкин, Е.Г. Куранов, Р.П. Симоньянц; А.В. Хромушкин, Ю.И. Минаев, Е.Г. Куранов.</i>	
Методические вопросы инженерного образования:	511
<i>Н.Г. Багдасарьян, А.А. Немцов; А.В. Коровайцев, Е.А. Коровайцева; М.Ф. Меняев; Е.В. Галямова, В.В. Сюзев; А.Ю. Пашутина; А.А. Дорофеев.</i>	
О системе инженерного образования Европы	514
<i>I. Etnri (Словения)</i>	

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДОКЛАДЫ ПЕРВОЙ МНТК-2004

<i>Архипов Ю.С., Бешенев Ю.А., Булдашев С.А., Казанкин Ф.А., Кулябин К.П., Кутуев Р.Х., Ларин Е.Г., Леденева Е.В., Потабачный Л.А. Состояние работ НИИМаш в области космического двигателестроения</i>	516
--	-----

<i>Матвеев В. П., Клизман Е. П., Юрлова Н. А.</i> Управление демпфирующими свойствами конструкций, содержащих пьезоэлементы.	527
<i>Щеглов Г. А.</i> Исследование переходных процессов при выходе гладких упруго закрепленных тел в плоскопараллельный поток движущейся жидкости	536
<i>Виленский В. В., Матвеев В. Ф., Чугунов Е. Е.</i> Повышение точности бесплатформенной гироскопической системы ориентации ИСЗ в режиме орбитальной гиропамяти	546
<i>Витер В. В., Виленский В. В., Матвеев В. Ф., Маркелов В. В., Иванов Н. Н., Лопатенто Л. Е., Седых О. Ю.</i> Трехосная система ориентации и стабилизации МКА «Бауманец»	555
<i>Ивлев М. П., Платанов С. В., Романовский А. С., Чухров С. Ю.</i> Методы интеграции и обработка сигналов в инерциально-спутниковых системах навигации	562
<i>Буравин А. Е., Красногорский М. Г.</i> Проект создания центра радиолокационных геотехнологий	572
Сведения об участниках конференций	577
Содержание	590

Научное издание

Труды Всероссийских и Международной
научно-технических конференций
Аэрокосмические технологии
(Реутов – Москва, 2004 – 2007)
НПО машиностроения,
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научные руководители: Ефремов Г.А., Федоров И.Б.

Ответственный редактор Симоньянц Р.П.

Компьютерная верстка Курков М.А.

Подписано в печать 20.03.2008
Формат 60х90/16. Бумага офсетная
Усл. печ. л. 37,44+1,62 усл. п.л. вкл.
Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.
Типография ОАО «ВПК «НПО машиностроения»
143966, Московская область, г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33

ISBN 978-5-7038-3179-3

