

# УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В.Ю. Рутковский

Приведены основные результаты по созданию теории и систем управления объектами космической и авиационной техники, полученные в Институте проблем управления РАН.

**Ключевые слова:** система управления, жидкостной ракетный двигатель, искусственный спутник Земли, ракета, деформируемые космические аппараты, самолет, обработка изображений.

## ВВЕДЕНИЕ

В Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН традиционно выполняются работы по развитию теории управления движущимися объектами. Эти работы были поставлены и до 1980 г. проводились под руководством академика Б.Н. Петрова. К такому классу объектов относятся ракеты, искусственные спутники Земли и другие типы космических аппаратов, самолеты и ракетные двигатели.

В статье приводятся основные результаты по теории и разработке систем опорожнения баков в жидкостных ракетных двигателях и системы синхронизации расходования топлива, по теории бортовых терминальных систем. Отмечена разработка общей концепции совершенствования энергетических характеристик ракет-носителей средствами управления. Отмечено также, что теоретические результаты были реализованы и созданные на их основе системы управления стали составной частью всех крупных жидкостных ракет разработки Главных конструкторов С.П. Королева, М.К. Янгеля, В.Н. Челомея, В.Ф. Уткина.

Приведены результаты по разработке структуры и теории системы предварительного успокоения гравитационно стабилизируемых спутников Земли, по созданию систем ориентации деформируемых космических аппаратов, по решению задачи совместного оценивания координат движения основного тела объекта и конечного числа изгибных мод.

Изложены основные результаты по разработке теории адаптивных систем с моделью и адаптив-

ных систем управления одним классом ракет. Отмечены работы по теории координатно-параметрического управления, управления космическими свободно летающими роботизированными модулями и большими космическими конструкциями.

Приведены работы в области построения узлов управляющих вычислительных машин из элементарных цифровых интеграторов, архитектур и методов повышения отказоустойчивости бортовых вычислительных комплексов.

Изложены вопросы разработки принципов построения, структур и методов реализации бортовых информационно-управляющих систем высочересурсных автономных космических аппаратов. Отмечены результаты по новой ветви теории управления — стохастической  $H_\infty$ -теории робастного управления, по исследованиям в области создания интеллектуальных информационно-управляющих систем для сложных технических объектов и человеко-машинных комплексов.

Приведены основные результаты по энергетическому подходу к управлению движением, по информационному обеспечению для обработки трехмерных изображений поверхности Земли.

## 1. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТНЫМИ РАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

В Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова (ИПУ) работы по созданию теории управления летательными аппаратами были начаты в начале 1950-х гг.

В конце 1940-х — начале 1950-х гг. в СССР под руководством С.П. Королева были начаты работы по созданию первой межконтинентальной ракеты



Р-7. Были поставлены две новые, ранее никем не решавшиеся задачи: управление кажущейся скоростью ракеты и управление расходом топлива с целью синхронизации опорожнения баков окислителя и горючего и обеспечения минимального гарантированного запаса топлива в баках в момент отключения двигателя. Решение этих задач потребовало создания теории и систем управления жидкостными ракетными двигателями (ЖРД). В связи с этим по просьбе С.П. Королева и В.П. Глушко в ИПУ были начаты работы по управлению ЖРД. Руководил работами Б.Н. Петров (1913—1980), тогда молодой ученый, а впоследствии академик, вице-президент АН СССР, Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР, кавалер пяти орденов Ленина и многих других орденов и медалей Советского Союза и ряда зарубежных стран.

Исследования ЖРД начались с его анализа как объекта управления. Были определены динамические свойства ЖРД, места приложения управляющих воздействий, взаимосвязь отдельных координат, требования к датчикам и исполнительным механизмам системы управления. В 1953 г. был выпущен семитомный проект, в котором содержались самые первые результаты по решению задачи управления расходом топлива, проектированию системы опорожнения баков, системы регулирования кажущейся скорости, рассматривались возможные типы исполнительных механизмов в системах управления ракетой. Исполнителями проекта были Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, В.В. Петров, Г.М. Уланов, С.В. Емельянов, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова и др. [1, 2].

Проект обсуждался на заседании Комиссии Президиума АН СССР. Работа получила высокую оценку председателя Комиссии академика М.В. Келдыша, академика Б.С. Стечкина и первого заместителя С.П. Королева академика В.П. Мишина.

Постановлением правительства в 1954 г. Институту было поручено возглавить исследования в части управления двигательной установкой ракеты Р-7.

Проблема построения системы управления тягой ЖРД, систем регулирования соотношения компонентов топлива и синхронизации опорожнения баков ракеты была весьма актуальной задачей, ее решение сопровождалось немалыми трудностями, которые всегда сопутствуют созданию принципиально новых систем — «с нуля», без какой-либо предыстории, при полном отсутствии прототипов систем и серьезных литературных источников.

Работы Института, посвященные методологии вывода математической модели ЖРД, изучению особенностей динамики двигателя, исследованию

принципов построения систем управления ЖРД, имели очень важное значение и составили один из разделов общей теории ЖРД. В этот раздел вошло большое число новых теоретических задач, с которыми столкнулись разработчики ракеты Р-7 и многих последующих ракет. В частности, методика моделирования динамики ЖРД на аналоговых ЭВМ позволила существенно ускорить формирование способа решения задачи продольной неустойчивости ракеты Р-7 (Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, В.Н. Марков, А.И. Чацкий), позволила определить причину взрывов некоторых ракет при испытательных пусках и найти средства их предотвращения (Б.Н. Петров).

При создании системы опорожнения баков возникла проблема создания высокоточных беспоплавающих бортовых измерителей уровня жидкости в баках. В ИПУ был создан эндовибраторный датчик (Л.Г. Палевич, В.А. Викторов) и проведены поисковые работы по изучению прототипа емкостной чувствительной точки. Выполнены первые работы по поиску рациональных характеристик управляющих органов — дросселей системы опорожнения баков и регулирования соотношения компонентов топлива в магистралях ЖРД.

В связи с разработкой систем регулирования опорожнения баков и синхронизации расхода топлива в ИПУ были начаты работы по созданию теории бортовых терминальных систем управления (Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов и др.). В настоящее время эта теория находит широкое применение при проектировании систем управления баллистическими ракетами, позволяя решать такие задачи, как статистический синтез алгоритмов терминального управления, фильтрации, прогнозирования и предельных точностных характеристик терминальных систем управления, оптимизации временной последовательности интервалов квантования импульсных систем терминального управления и многие другие.

Работы по созданию систем опорожнения баков и синхронизации расхода топлива в баках ракеты в 1967 г. были отмечены Государственной премией СССР. От ИПУ Государственную премию получил Ю.П. Портнов-Соколов.

В 1980-е гг. в ИПУ была завершена разработка общей концепции совершенствования энергетических характеристик ракет-носителей средствами управления (Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов), реализация которой позволила повысить грузоподъемность ракет на 10—15 %. Большое семейство систем управления расходом топлива впоследствии было внедрено в разработках ракетно-космической техники при создании ракет-носителей «Энергия», «Зенит 2S», Зенит



3SL» (для международной программы «Морской старт») и «Протон-М» (при участии А.С. Поддубного, В.А. Жукова, В.К. Завадского и др.). Данный цикл работ отмечен в 1983 г. Государственной премией СССР. От ИПУ премию получили Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, А.С. Поддубный, В.П. Иванов.

На рубеже столетий был выполнен цикл работ по обеспечению безопасности ракетно-космической техники средствами управления. Общепринятая концепция приемлемого риска была доработана с учетом чрезвычайно высокой энергетической и информационной напряженности (А.Я. Андриенко, В.П. Иванов). Результаты этих работ реализованы в разработках ракетно-космической техники (с участием В.А. Жукова, В.К. Завадского и др.). При проектной разработке семейства ракет-носителей «Ангара» реализованы новые технологии построения пневмогидравлических систем подачи топлива с использованием новых датчиков давления и алгоритмических средств диагностики и парирования отказов в каналах измерения и исполнительных органах. В состав модернизированного варианта ракеты-носителя «Протон» введена система управления выработкой топлива и выключением двигателей ступеней, позволяющая снизить уровень экологически вредных остатков топлива.

В последние годы более востребованными оказались работы, связанные с заменой устаревшего парка ракет-носителей и космических аппаратов. В этой связи следует отметить участие ИПУ в выполнении программы введения в эксплуатацию вместо ракет-носителей «Спутник», «Восток», «Молния», «Союз-V» и «Союз-ФГ» новой ракеты-носителя «Союз-2» [3, 4], обеспечившей успешное выведение на орбиту космических аппаратов «Метон», «Меридиан» и «Коро».

Указанные выше результаты носят основополагающий характер, созданные на их основе системы управления стали составной частью всех крупных жидкостных ракет разработки главных конструкторов С.П. Королева, М.К. Янгеля, В.Н. Челомея и В.Ф. Уткина. Работы Института были отмечены высокими правительственными и государственными наградами. Сотрудники лаборатории, возглавляемой Ю.П. Портновым-Соколовым, в целом получили 26 орденов и медалей Советского Союза.

Заведующий отделом ИПУ, академик-секретарь Отделения механики и процессов управления, председатель Совета по международному сотрудничеству в области исследования и использования космического пространства «Интеркосмос» Б.Н. Петров принимал активное участие в создании и изготовлении многоместных пилотируемых кораблей-спутников «Восход 1» и «Восход 2»,

проведении их запусков и осуществлении мягкой посадки космических аппаратов на поверхность Луны, в передаче на землю фотографий лунной панорамы и выводе на орбиту первого в мире искусственного спутника Луны. В составе группы ученых из ряда промышленных организаций в 1966 г. за эти работы он был удостоен Ленинской премии.

## 2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

С конца 1950-х гг. в ИПУ развивается теория управления искусственными спутниками Земли (ИСЗ). По инициативе Д.Е. Охочимского в эти годы в нашей стране начали создаваться гравитационные системы ориентации ИСЗ. Это пассивные системы, не требующие расхода энергии на ориентацию и стабилизацию углового положения спутника. Однако управляющие моменты такой системы очень малы и не способны парировать возмущения по углам и их скоростям, которые возникают при отделении спутника от ракеты-носителя. В результате понадобилась разработка активной системы предварительного успокоения спутника.

В ИПУ под руководством Б.Н. Петрова были разработаны структура и теория оригинальной релейной системы предварительного успокоения спутника [1] (В.Ю. Рутковский, В.И. Попов, В.С. Косиков, Б.В. Павлов). Высокая экономичность такой системы достигалась благодаря введению специальной связи, компенсирующей петлю гистерезиса релейной характеристики, и выбору соответствующего соотношения между ограничениями выходных величин датчиков положения и угловой скорости спутника. В 1970 г. группа ученых Института прикладной математики РАН, ИПУ РАН, НПО прикладной механики и ЦНИИ автоматики и гидравлики за разработку пассивных систем ориентации ИСЗ была удостоена Государственной премии СССР. От ИПУ премию получили В.Ю. Рутковский и В.И. Попов.

В 1990-е гг. в ИПУ (А.Я. Андриенко, А.И. Чадаев) была предложена усиленно-гравитационная система орбитальной угловой стабилизации космических аппаратов на основе использования нитяной (кевларовой или, в перспективе, нанотехнологической нити длиной более 1 км) связки основного тела с дополнительным, что значительно увеличивает управляющий гравитационный момент аппарата [5].

Дальнейшее развитие теории управления ИСЗ в ИПУ было связано с созданием систем ориентации деформируемыми космическими аппаратами (ДКА) [1]. К ним относятся ИСЗ с присоединен-



ными гибкими элементами (большие панели солнечных батарей, выносные антенны и др.). Нежесткость конструкции ДКА порождает новые проблемы, связанные с обеспечением устойчивости движения и точности ориентации таких объектов, с увеличением расхода энергии на управление, с надежностью системы и др.

В связи с этим был предложен новый метод описания динамики ДКА — модально-физическая форма математической модели, метод фазовой биплоскости для синтеза алгоритмов управления и определения критического значения амплитуды упругих колебаний, при котором возникает неустойчивость движения (В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов). Были предложены два типа алгоритмов демпфирования упругих колебаний. Эти результаты нашли практическое применение при проектировании и создании систем управления спутников связи на геосинхронной орбите серий «Радуга» и «Горизонт», спутников непосредственного телевидения серии «Экран», ряда большемерных спутников «Луч-1», «Луч-2» и др.

В последние годы [6] была решена проблема совместного оценивания координат движения ДКА на основе калмановской фильтрации и объединения этой теории и теории проверки статистических гипотез (В.М. Суханов, Т.В. Ермилова, А.С. Ермилов, В.Г. Борисов). Предложена дискретная адаптивная система управления ДКА и разработана методика ее исследования на основе дискретных аналогов теорем Ляпунова, при этом выполнен синтез алгоритма адаптации с помощью нечеткой логики (И.Н. Крутова, В.М. Глумов). Разработаны приближенные модели ДКА на основе оценки огибающей упругих колебаний (А.В. Силаев), предложена графовая модель ДКА (В.М. Суханов, И.Н. Крутова, В.М. Глумов).

### 3. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С МОДЕЛЮ

В 1957 г. в ИПУ по просьбе главного конструктора ОКБ «Факел» П.Д. Грушина начались работы по созданию теории беспойсковых самонастраивающихся систем (БСНС) управления для разрабатываемых в этом ОКБ ракет [1, 7]. В настоящее время эти системы в нашей и мировой литературе известны как адаптивные системы с моделью.

Были предложены два принципа построения БСНС (Б.Н. Петров, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова), метод синтеза основного контура на основе теории инвариантности (В.Ю. Рутковский, С.Д. Земляков, Б.В. Павлов), эвристические алгоритмы адаптации (В.Ю. Рутковский, И.Н. Круто-

ва), линеаризованные модели БСНС (И.Б. Ядыкин, И.Н. Крутова, Б.В. Павлов, В.С. Косиков), «ляпуновские» алгоритмы адаптации (В.Ю. Рутковский, С.Д. Земляков), критерий адаптируемости и частотный метод исследования БСНС (И.Б. Ядыкин). Разработаны структуры и теория БСНС для различных классов летательных аппаратов (Б.Н. Петров, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова, С.Д. Земляков, Б.В. Павлов, В.Н. Ссорин-Чайков, В.М. Глумов, Т.В. Ермилова и др.).

На основе разработанной теории совместно с МОКБ «Радуга» и Московским институтом электромеханики и автоматики впервые в СССР были созданы адаптивные системы управления для нескольких классов ракет главного конструктора И.С. Селезнева. За создание принципов построения, теории и методов проектирования адаптивных систем управления, их серийное производство для классов ракет коллективу авторов в 1981 г. была присуждена Государственная премия СССР. От ИПУ были награждены Б.Н. Петров, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова, С.Д. Земляков, Б.В. Павлов.

В настоящее время в ИПУ [1] продолжает развиваться теория адаптивных систем с моделью, теория систем координатно-параметрического управления. Предложены принципы настраиваемой работоспособности, концепция восстанавливаемой функциональной работоспособности и настраиваемой стратегии управления, развивается теория оптимальных адаптивных регуляторов для нелинейных многосвязных объектов, адаптивных регуляторов с элементами искусственного интеллекта и др. В качестве объектов управления рассматриваются, в основном, большие космические конструкции и свободно летающие космические роботизированные модули [8]. Решены задачи компьютерного вывода математических моделей таких объектов (С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский, В.М. Глумов, В.М. Суханов), предложены графовые модели множества допустимых траекторий сборки (В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов, В.М. Глумов). Предложены три стратегии адаптивного управления: управление на основе интеллектуальной диагностики состояния упругих колебаний конструкции, управление с оценкой фазы доминантной моды в момент переключения управления (В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов) и управление на основе нечеткой логики (И.Н. Крутова, В.М. Глумов). Решена задача прецизионного и безопасного управления движением космического роботизированного модуля при мониторинге поверхности орбитальной станции (С.Д. Земляков, Д.А. Криво-ручко) и др.



#### 4. РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Институт имеет устойчивые связи с предприятиями и организациями авиационного профиля. Временем поисков перспективных направлений развития вычислительной техники специального назначения были 1960-е гг. Потребовались новые теоретические разработки для внедрения цифровой вычислительной техники на борт летательных аппаратов. В Институте была выдвинута и разработана концепция построения узлов управляющих вычислительных машин из элементарных цифровых интеграторов (Ф.В. Майоров, Ю.В. Ковачич, В.В. Бельгий, А.М. Шевченко) [9]. Эта концепция была реализована в виде опытного образца ЦИМ-1, изготовленного на предприятии «Уфимский моторостроительный завод». Первый экземпляр ЦИМ-1 был принят Государственной комиссией в 1965 г. и прошел стадию опытной эксплуатации в Филевском филиале ЦКБМ.

Дальнейшим развитием линии цифровых управляющих машин была разработка архитектуры универсальной бортовой ЭВМ УМ-1. Эта ЭВМ была изготовлена на новом технологическом уровне в Ленинградском КБ-2. Разработка цифровых алгоритмов управления и их программирование осуществлялись в Институте. Один экземпляр УМ-1 был инсталлирован на стенде в ЦИАМ им. П.И. Баранова. В процессе опытной эксплуатации имитировались разнообразные режимы полета, существенно меняющие динамику газотурбинного двигателя. Была выдвинута идея об адаптации частоты выдачи решений алгоритмов управления. Путем выбора оптимальной частоты загрузки процессора удалось снизить в 2—3 раза. Была разработана методика оценки погрешностей в цифровых системах с асинхронным квантованием.

Было проведено исследование архитектур и методов повышения отказоустойчивости бортовых вычислительных комплексов (Э.М. Мамедли, Н.А. Соболев, А.П. Курдюков). Результаты разработок в этой области были реализованы в бортовой системе управления первого отечественного космического аппарата многоразового использования «Буран».

#### 5. ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Еще под руководством Б.Н. Петрова была начата разработка принципов построения, структур и методов реализации бортовых информационно-управляющих систем высокоресурсных автономных космических аппаратов для исследований комет, малых планет и спутников больших планет

Солнечной системы. В рамках этой проблемы самостоятельными направлениями были исследования по методам управления и технической диагностике бортовых ядерных энергоустановок и систем обеспечения целевых научных программ. Разработки ИПУ РАН в этой области (В.В. Бугровский, Д.А. Гольдин, И.А. Вогау) [10, 11] были реализованы в техническом проекте НПО им. С.А. Лавочкина по созданию космического аппарата с ядерным источником энергии и двигателями малой тяги для исследования пояса астероидов.

В настоящее время проводятся исследования в новой перспективной ветви теории управления — стохастической  $H_\infty$ -теории робастного управления (А.П. Курдюков, М.М. Чайковский) [12]. Полученные результаты позволяют повысить степень робастности по отношению к возмущениям при синтезе алгоритмов управления движением летательных аппаратов, что актуально для решения проблем повышения их безопасности и живучести.

Исследуются новые проблемы оценивания состояния технического объекта управления как нелинейной системы в аспекте анализа наблюдаемости и синтеза наблюдателей (К.Е. Старков). Изучаются геометрические структуры множества универсальных входов для полиномиальной пары «система — закон наблюдения».

Проводятся исследования в области создания интеллектуальных информационно-управляющих систем для сложных технических объектов и человеко-машинных комплексов (Д.А. Гольдин, А.М. Чесноков). Исследуются методы обеспечения интеллектуальной поддержки деятельности человека-оператора (членов экипажа, операторов бортовых систем и наземных комплексов управления) в быстро меняющейся обстановке при жестких ограничениях на время принятия решений, недостаточной априорной и недостаточно достоверной текущей информации. В этой области разрабатываются эффективные методы обучения и представления баз знаний, механизмы вывода и другие методы искусственного интеллекта, реализуемые в виде прикладных программных и инструментальных средств.

#### 6. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЕМ

В части концептуальных, прогрессивных теоретических направлений работ Института лежит разработка энергетического подхода к управлению движением в пространстве (А.М. Шевченко, А.М. Чесноков). В основу этого подхода положено уравнение баланса энергий в системе «объект — силовая установка — внешняя среда». Оно связывает режим работы двигателей, аэродинамические



характеристики и ветровые возмущения, выражаемые в одних и тех же обобщенных координатах — в координатах удельной энергии. Задача управления сформулирована как задача минимизации целевой функции — отклонения энергетической высоты. На базе этого подхода разработана модифицированная энергетическая система управления полетом, которая в модельных экспериментах продемонстрировала явные преимущества перед традиционными системами для широкого класса самолетов в диапазоне масс от 10 (СУ-80) до 200 т (Ил-96). Кроме того, этот подход открывает возможность формировать директорный индекс для ручного управления тягой двигателей и генерировать сигналы оповещения об уровне ветровых возмущений. Результаты внедрены в Московском институте электромеханики и автоматики при проектировании систем управления полётом самолетов ТУ-154, ТУ-204, ИЛ-96, АН-148, С-80 и Ан-70.

В задачах управления движением любых подвижных объектов — морских, наземных, атмосферных, космических — важнейшей характеристикой объекта является его масса. Особое значение оценка массы приобретает при расследовании чрезвычайных происшествий. На основе энергетического подхода разработан метод объективного контроля массы самолетов по записям штатных бортовых регистраторов или по датчикам полетных параметров. Задача определения массы была поставлена как задача идентификации одного из параметров движущегося объекта. Достоинство энергетического метода вычисления массы состоит в том, что метод хорошо работает с сильно зашумленными измерениями, содержащими систематические погрешности. Это объясняется тем, что в вычислениях используются измерения на интервале или приращении измерений. Основные теоретические положения работы были реализованы при обработке записей бортовых регистраторов МСРП-64.

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Для решения задач навигации, управления движением и обеспечения безопасности летательных аппаратов актуальны исследования и разработка алгоритмического и аппаратного обеспечения бортовых систем навигации по естественным полям Земли, также проводимые в последнее время в Институте (Б.В. Павлов, А.К. Волковицкий, Е.В. Каршаков).

В 1998 г. в Институте начаты работы по созданию информационного обеспечения для обработки трёхмерных изображений поверхности Земли, полученных средствами дистанционного зондиро-

вания. В настоящее время разработанные программные продукты являются одними из лучших в мире, поскольку в алгоритмах реализованы оригинальные математические решения, позволяющие оптимизировать многие технологические процессы (Д.В. Тюкавкин, Н.Д. Беклемишев, В.В. Кекелидзе).

Предложены новые алгоритмы и методы интерполирования двумерных функций по случайному набору известных точек на основе калмановской фильтрации, которые по сравнению с ранее использовавшимися методами (кригинг, триангуляции Делоне и др.) более точные и производительные [13]. Разработан также специальный метод хранения регулярной структуры геопространственных данных с поддержкой возможности хранения больших объёмов данных и быстрого доступа к ним (А.И. Алчинов, Н.Д. Беклемишев, В.В. Костин, В.Б. Кекелидзе).

Получены новые научные и прикладные результаты в области обработки трёхмерных изображений, которые признаны учёными всего мира и широко используются на практике, в частности при решении задач управления объектами аэрокосмической техники.

В настоящее время ведутся работы по исследованию и разработке методов обеспечения полётов над местностью со сложным рельефом на базе использования оцифрованных картографических данных. Полученная геоинформационная система может быть использована в системе оперативного принятия решений.

Созданы программные продукты, которые в полном объёме и с высоким качеством решают все технологические задачи по обработке аэрокосмических материалов (А.И. Алчинов, Н.Д. Беклемишев, В.Б. Кекелидзе, А.Б. Подловченко). Программные продукты могут быть установлены на очень удобных для работы оператора персональных компьютерах, а также карманных персональных компьютерах, с помощью которых решаются практические задачи информационного обеспечения управления объектами космической и авиационной техники.

Продолжается интенсивное развитие программного продукта «Талка» и в целом цифровой фотограмметрической станции. Реализуются уникальные возможности, заложенные в разработанные продукты. Новые алгоритмы и технические решения отличаются высокой оперативностью и точностью обработки трёхмерных изображений, что позволяет значительно сократить трудовые и временные затраты при создании карт и планов для информационного обеспечения управления движущимися объектами.



На международной выставке «International Exhibition of Inventions, New Techniques and Products» (г. Женева, Швейцария) перечисленные результаты в составе единой российской экспозиции отмечены бронзовой (2008 г.), золотой и серебряной (2009 г.) медалями. На 6-й Международной выставке изобретений, новой техники и товаров (г. Сучжоу, Китай, 16—19 октября 2008 г.) представленные Институтом результаты отмечены серебряной и бронзовой медалями.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работы Института в области управления космической и авиационной техники получили широкую известность в нашей стране и за рубежом. Они сыграли большую роль в развитии космонавтики в нашей стране, в развитии теории и практики построения адаптивных, терминальных и оптимальных по критерию  $H_\infty$ -систем управления летательными аппаратами различных классов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Институту проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН — 65 лет / Под ред. И.В. Прангишвили.* — М.: ИПУ, 2004. — 424 с.
2. *Портнов-Соколов Ю.П., Присс Г.М.* Предыстория бортового комплекса системы управления ракеты Р-7 // *Автоматика и телемеханика.* — 1999. — № 6. — С. 31—42.
3. *Анализ внештатной составляющей уровневых погрешностей в системе управления расходом топлива ракеты-носителя / А.Я. Андриенко, М.И. Заплатин, В.М. Кутовой, А.И. Чадаев // Датчики и системы.* — 2009. — № 6.
4. *Андриенко А.Я., Лосев Е.П., Тронова Е.И.* Совершенствование алгоритмов действия расходомерных контуров системы управления ракеты-носителя // *Проблемы управления.* — 2009. — № 4. (В печати.)
5. *Андриенко А.Я., Чадаев А.И.* Анализ возможностей усиленно-гравитационной стабилизации низкоорбитальных спутников // *Космические исследования.* — 1998. — Т. 36, № 4. — С. 391—398.
6. *Рутковский В.Ю., Суханов В.М.* Проблемы нелинейного управления ориентацией деформируемых космических аппаратов. 1. 2 // *Мехатроника, автоматизация, управление.* — 2006. — № 9. — С. 6—14; № 10. — С. 15—24.
7. *Рутковский В.Ю.* Работы Института проблем управления в области беспойсковых адаптивных систем и систем управления космическими аппаратами // *Автоматика и телемеханика.* — 1999. — № 6. — С. 42—49.
8. *Models and control methods by large space structures / V.Yu. Rutkovsky, V.M. Sukhanov, S.D. Zemlyakov, V.M. Glumov // Intern. Conf. on Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace (ICNPAA-2008) / Mathematical Problems in Engineering in Aviation and Aerospace. 25 — 27 June 2008. Plenary papers. CD-ROM.*
9. *Шевченко А.М., Мамедли Э.М., Струков Ю.П.* Бортовые вычислительные системы // *Итоги науки и техники / Сер. «Авиастроение».* — М.: ВИНТИ, 1976.
10. *Интеллектуальные системы автономных аппаратов для космоса и океана и метод технико-биологических аналогий / В.В. Бугровский, И.А. Вогау, Д.А. Гольдин и др.* — М.: ИПУ, 1997. — 214 с.
11. *Курдюков А.П.* Построение оптимальных робастных регуляторов при действии внешних возмущений / В кн.: «Методы классической и современной теории автоматического управления» в трёх томах, т. 3 «Методы современной теории автоматического управления». — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. — С. 193—250.
12. *Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В.* Проектирование информационно-управляющих систем долговременных орбитальных станций. — М.: Наука, 2002. — 343 с.
13. *Алчинов А.И., Беклемишев Н.Д., Кекелидзе В.Б.* Методы цифровой фотограмметрии. Технология «Талка». — М.: МГУП, 2007. — 260 с.



**Рутковский Владислав Юльевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией координатно-параметрического управления динамическими системами ИПУ, действ. член Академии нелинейных наук, лауреат Государственных премий СССР, заслуженный деятель науки РФ. Председатель секции «Управление подвижными объектами и навигация» Ученого совета ИПУ, член редколлегий журналов «Автоматика и телемеханика» и «Проблемы управления». Более 55-ти лет работает в области теории адаптивного управления подвижными объектами. ☎(495) 334-87-30, ✉rutkov@ipu.ru.

