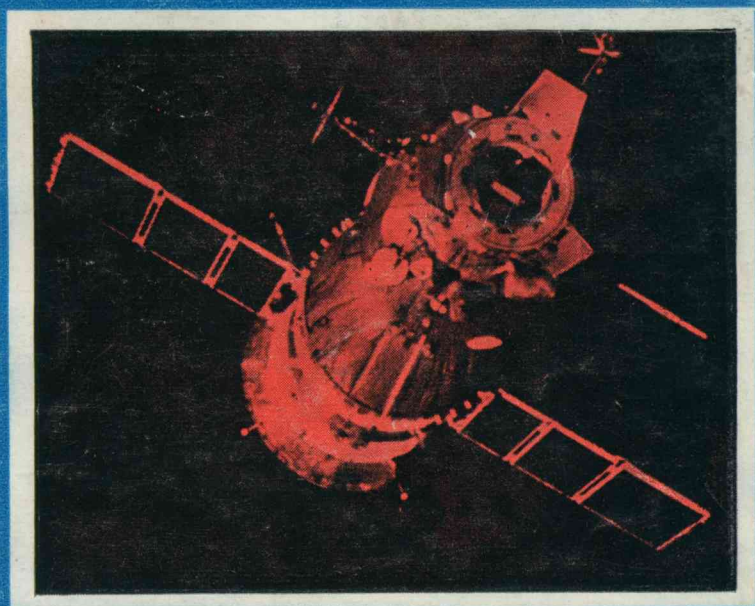


НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

ПО АВИАЦИИ
И КОСМОНАВТИКЕ

1978



Издательство • НАУКА •

**НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ
ПО АВИАЦИИ
И КОСМОНАВТИКЕ**

1978

«...ТО, ЧЕГО МЫ ДОБИЛИСЬ
В ОСВОЕНИИ КОСМОСА — ЭТО ЗАСЛУГА
НЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ,
ЭТО ЗАСЛУГА ВСЕГО НАРОДА,
ЗАСЛУГА НАШЕЙ ПАРТИИ,
ПАРТИИ ЛЕНИНА».



«... МЫ, КОСМОНАВТЫ,...
БЫЛИ ГОРДЫ ДОВЕРИЕМ РОДИНЫ,
ЕЕ БЛАГОРОДНЫЕ ДЕЛА
ОСВЕЩАЛИ НАМ ПУТЬ ВПЕРЕД.
ЭТО БЫЛ СВЕТ БЕССМЕРТНЫХ
ЛЕНИНСКИХ ИДЕЙ».



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ

НАУЧНЫЕ
ЧТЕНИЯ
ПО АВИАЦИИ
И КОСМОНАВТИКЕ
1978



Издательство «НАУКА»
Москва
1980

Сборник содержит научные результаты, доложенные учеными и космонавтами, инженерами и биологами на VIII Гагаринских чтениях 1978 г. и дополненные в процессе подготовки сборника к печати новыми фактическими материалами. В сборник включены материалы по основным проблемам механики полета летательных аппаратов, систем управления ими, использования робототехники, методики проектирования летательных аппаратов с использованием автоматизации проектно-конструкторских работ, разработки средств жизнеобеспечения и безопасности экипажей летательных аппаратов, а также медико-биологические исследования, проведенные на базе орбитальных станций.

Редакционная коллегия:

А. Ю. ИШЛИНСКИЙ (председатель),
В. П. МИШИН, О. Г. ГАЗЕНКО, И. Т. БЕЛЯКОВ,
Г. С. НАРИМАНОВ, Б. М. ПАНКРАТОВ,
В. Н. ПРАВЕЦКИЙ, В. А. ОДИНЦОВ, Н. М. РУДНЫЙ,
Н. М. САМСОНОВ, Ю. И. ТОПЧЕЕВ, Д. Н. ЩЕВЕРОВ,
О. А. ЧЕМБРОВСКИЙ, В. И. БАЖЕНОВ, В. Н. САГИНОВ,
В. А. ШИТОВ, И. И. ШУНЕЙКО

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научные чтения по авиации и космонавтике — Гагаринские чтения — проводятся ежегодно с 1971 г. В этом году отмечалось десятилетие полета Ю. А. Гагарина — первого полета человека в космос.

Чтения посвящаются Всемирному дню авиации и космонавтики, установленному в ознаменование первого полета в космос — гражданина СССР, коммуниста Юрия Алексеевича Гагарина.

За прошедшие годы Гагаринские чтения стали ежегодным большим научным и общественно-политическим форумом, на котором ученые, космонавты, инженеры, врачи и биологи делятся результатами космических исследований, последними достижениями в области авиационной и космической техники, обсуждают актуальные проблемы их дальнейшего развития.

На Гагаринских чтениях с сообщениями выступали вице-президент АН СССР академик А. П. Виноградов, академики О. Г. Газенко, Н. П. Дубинин, А. Ю. Ишлинский, В. П. Мишин, В. В. Парин, Б. Н. Петров, Г. И. Петров, Р. З. Сагдеев; члены-корреспонденты АН СССР В. С. Авдуевский, Ю. Д. Буланже, К. Д. Бушуев и др.; профессора Г. С. Нариманов, Ю. А. Победоносцев, С. М. Егер; генеральные конструкторы А. А. Туполев, Г. В. Новожилов; летчики-космонавты СССР В. А. Шаталов, Г. Т. Береговой, Г. С. Титов, А. Г. Николаев, П. Р. Попович, А. А. Леонов, Н. Н. Рукавишников, А. В. Филипченко, В. И. Севастьянов, Г. С. Шонин и др.

На VIII Гагаринских чтениях (28 марта — 7 апреля 1978 г.) приняло участие более 3500 специалистов, работающих в области космической и авиационной техники.

Организаторами Гагаринских чтений были: Институт проблем механики АН СССР, Центральный Дом авиации и космонавтики им. М. В. Фрунзе, Комитет космонавтики, Центр подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина, Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе, Московский авиационный технологический институт им. К. Э. Циолковского (по студенческим Гагаринским чтениям).

В предлагаемый читателям сборник включены наиболее интересные сообщения, доложенные на VIII Гагаринских чтениях и дополненные в процессе подготовки сборника к печати новыми фактическими материалами.

В 1979 г. прошли IX Гагаринские чтения, в 1980 г. будут проведены X Гагаринские чтения, посвященные 110-й годовщине со дня рождения В. И. Ленина. Материалы этих чтений готовятся для опубликования в очередном сборнике «Научные чтения по авиации и космонавтике».

Редакционная коллегия выражает свою благодарность всем принявшим участие в подготовке сборника к печати.

ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ

А. Ю. ИШЛИНСКИЙ, Г. Т. БЕРЕГОВОЙ, В. Н. САГИНОВ,
Н. Д. САМСОНОВ

Стало доброй традицией ежегодно, накануне Всемирного дня авиации и космонавтики собираться на научные чтения, которые по праву названы Гагаринскими.

Учрежденные в 1971 г. — в год десятилетия первого пилотируемого космического полета, Гагаринские чтения посвящены великому подвигу наших ученых, космонавтов, инженеров, техников, врачей, рабочих, творческие коллективы которых, руководимые крупнейшими учеными и конструкторами, шли и продолжают свой путь новыми, неизведанными дорогами по осуществлению космических полетов, развитию на их базе космических исследований и использованию космоса во имя мира и прогресса на Земле.

Труд этих коллективов возглавил и объединил выдающийся конструктор, основоположник практической космонавтики академик Сергей Павлович Королев.

Выполняя задание нашей партии и нашей Родины, гражданин СССР, коммунист, летчик Юрий Алексеевич Гагарин стал первым человеком Земли, отважно совершившим первый космический полет вокруг Земли.

Как известно, в честь этого всемирно исторического события, в котором, как в фокусе, собрался весь титанический труд огромных коллективов, ежегодно во всех странах отмечается Всемирный день авиации и космонавтики, как признание выдающегося подвига советского народа, его науки и техники, медицины и биологии в изучении и освоении космического пространства на благо всех тружеников Земли.

В нынешнем году Всемирному дню авиации и космонавтики предшествовали VIII Гагаринские чтения.

28—31 марта 1978 г. работали восемь секций, а 5—7 апреля проходили пленарные заседания VIII Гагаринских чтений. В этом году пленарные заседания были объединены с чтениями, посвященными разработке творческого наследия академика С. П. Королева.

Начало 1978 г. было ознаменовано рядом новых успехов: полетом станции «Салют-6» с кораблями «Союз» и «Прогресс», начат новый этап в освоении космического пространства. Союз науки и труда одержал победу. 96-суточный полет, самый продолжительный космический полет, Юрия Викторовича Романенко и Георгия Михайловича Гречко на станции «Салют-6», имеющей два стыковочных узла, — новое выдающееся достижение советской космонавтики. Станция «Салют-6» приняла не только «Союз-26», но и



еще два корабля — «Союз-27» и «Союз-28», а также грузовой автоматический корабль «Прогресс». 11 января на станцию прибыли космонавты Владимир Джанибеков и Олег Макаров, которые через несколько дней на другом корабле «Союз» вернулись на Землю. 22 января впервые в истории космических полетов ко второму причалу станции «Салют-6» прибыл автоматический грузовой корабль «Прогресс-1». Сделан важнейший шаг к созданию постоянно действующих орбитальных станций со сменяемыми экипажами исследователей. Создание долговременных орбитальных станций советская наука рассматривает как магистральный путь человека в освоении космического пространства.

Кульминационным событием 96-суточного полета было прибытие на борт «Салюта-6» первого международного космического экипажа. Этим полетом советский космонавт Алексей Губарев и гражданин ЧССР Владимир Ремек положили начало полетам международных космических экипажей.

Две экспедиции посещения и стыковка автоматического грузового корабля «Прогресс-1», работа Романенко и Гречко в открытом космическом пространстве на наружной поверхности станции, испытания новой конструкции полужесткого скафан-



дра открывают огромные возможности для проведения самых разнообразных исследований и экспериментов в космосе. Знаменательно, что в первые апрельские дни на орбиту вышел исследовательский спутник серии «Космос» под номером 1000. Успешное выполнение экипажем орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз» длительной и сложной научной и экспериментальной программы — новый крупный шаг в осуществлении решений XXV съезда КПСС о всемерном развитии исследований и использовании космического пространства в мирных целях.

Под знаком этого нового вклада в космических исследованиях и в развитии авиации проходила работа восьми секций Гагаринских чтений. Научные доклады и сообщения ученых и космонавтов на заседаниях секций и на пленарных заседаниях осветили огромный вклад нашего народа в космические исследования и в развитие авиации на благо всех людей на Земле.

К VIII Гагаринским чтениям от 48 организаций поступили заявки на включение в программу чтений 282 докладов специалистов. Из-за ограниченности времени работы секций в их программу было включено 205 докладов и сообщений, авторами которых были 5 космонавтов, 55 докторов наук, 181 кандидат наук, 227 инже-

неров и врачей. Остальные 77 докладов были рекомендованы для внесения либо в программу IX Гагаринских чтений, либо в программы соответствующих научных семинаров и конференций.

На VIII Гагаринских чтениях работали различные секции. Секция «Механика полета» (руководители — доктор физико-математических наук, профессор В. В. Добронравов, доктор технических наук, профессор Б. М. Панкратов, кандидат технических наук летчик-испытатель И. И. Шунейко), заседания которой проходили в двух подсекциях, работавших одновременно. На подсекции «Динамика полета» рассмотрено 20 докладов и сообщений, которые главным образом были посвящены методике расчета параметров движения центра масс летательного аппарата на различных околоземных и межпланетных траекториях. Большой интерес вызвали сообщения: А. И. Белякова, В. Е. Волкова, Е. Г. Портнова о способе построения корректируемой системы связанных искусственных спутников Земли на эллиптических орбитах, А. И. Белякова и А. А. Усикова о методе импульсной стабилизации высоты полета низколетящих ИСЗ, Е. Л. Лукашевича об одном интегрируемом случае движения спутника в аппроксимированном поле тяготения Земли, В. А. Котова и других о прогнозировании полетов к Юпитеру и Сатурну.

Основное содержание работы подсекции «Проблемы динамики полета и тепломассообмена» составляло рассмотрение задач теплового проектирования летательных аппаратов и определение их теплозащитных покрытий. Из доложенных материалов следует отметить сообщение Б. М. Панкратова о некоторых вопросах динамики космического полета, А. А. Иванова о приближенном методе расчета прогрева многослойного неразрушающегося теплозащитного покрытия, В. П. Дронова о конвективном теплообмене при пониженной перегрузке с учетом испарения жидкости. В этом году более широко и всесторонне рассматривались вопросы, связанные с осуществлением полетов крылатых аппаратов в диапазоне высот от 40 до 120 км.

На секции «Системы управления летательными аппаратами» (руководитель — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Ю. И. Топчеев) были рассмотрены вопросы, связанные с ориентацией, стабилизацией и управлением космическими аппаратами, с построением моделей операторов, применением нелинейной фильтрации для оценки информации в космических полетах, а также вопросы методики автоматизированного проектирования систем управления для космических летательных аппаратов. Наиболее интересны были сообщения: А. М. Волкова и А. Г. Колочева о построении математической модели человека-оператора, Э. И. Митрошина, В. А. Глинского и А. П. Сорокина об алгоритмах управления пространственным маневром летательного аппарата на участке спуска, В. Г. Потемкина, А. И. Киселева, С. П. Забродина о диалоговых системах проекти-

рования систем управления космических летательных аппаратов. Методы автоматизации проектирования в режиме диалога «ЦВМ — проектировщик» уже не первый год рассматриваются на этой секции и широко обсуждаются:

Секция «Проблемы проектирования и обработки летательных аппаратов» (руководители — академик В. П. Мишин, доктор технических наук, профессор Д. Н. Щеверов, кандидат технических наук, доцент В. И. Баженов) рассматривала две проблемы: формирование систем проектирования летательных аппаратов с использованием современных вычислительных машин и обработка летательных аппаратов. По первой проблеме наиболее интересными были сообщения: Д. Н. Щеверова о методологии формирования систем машинного проектирования летательных аппаратов, Г. В. Малышева о вероятностных технико-экономических и конструкторских моделях в проектировании летательных аппаратов. Остальные сообщения содержали ряд новых результатов в области наиболее эффективных методов проектирования и совершенствования летательных аппаратов. По проблеме отработки летательных аппаратов наибольший интерес вызвали сообщения: А. А. Пухова об одной из проблем проектирования крыла сверхзвукового пассажирского самолета, О. Б. Андрейчука о выборе структуры криогенной системы камеры имитатора космоса, В. И. Баженова, Ю. В. Захарова и других об экспериментальной отработке крупногабаритной системы отделения при вертикальном положении летательного аппарата. Участники работы секции высказали пожелание об организации постоянно действующего семинара по автоматизированным системам проектирования и отработки летательных аппаратов.

На секции «Применение космических летательных аппаратов» (руководители — профессор В. А. Одинцов, кандидат технических наук А. Д. Коваль) рассматривались материалы по прикладному использованию космической техники для решения задач, связанных с разработкой конкретных производственных проблем, охраной природы нашей планеты и целесообразным использованием ее ресурсов. Новые результаты приводились в докладах А. Г. Масевич, Н. П. Ершлева, А. М. Лозинского о фотографическом наблюдении геостационарных спутников Земли для геодезических целей, Т. А. Амелиной, Е. А. Востоковой и других о дистанционной индикации при картографировании труднодоступных регионов, И. К. Абросимова и других о поиске пресных подземных вод в песчаных пустынях на основе использования материалов космических фотосъемок, В. В. Козлова о сравнении систем разломов Земли и других планет по материалам космических съемок.

Секция «Проблемы космической и авиационной медицины и биологии» (руководители — академик О. Г. Газенко, доктора медицинских наук, профессора Н. М. Рудный, С. А. Гозулов, Е. М. Юганов, Ю. В. Крылов, кандидат медицинских наук А. В. Еремин) рабо-

тала по двум направлениям: космическая биология и медицина, авиационная медицина.

На секции в этом году рассматривались психофизиологические и психологические проблемы длительных космических полетов и обсуждались некоторые фундаментальные проблемы экзобиологии. Л. С. Хачатурьянц в своем докладе дал анализ особенностей функций и деятельности человека в пилотируемом космическом полете, рассмотрел возможные пути оптимизации деятельности космонавтов с учетом длительности и характера полета. Влияние динамических факторов и особенности адаптации ведущих систем человеческого организма рассмотрены в сообщениях И. Д. Пестова с соавторами, А. В. Береговкина с соавторами, А. В. Еремина с соавторами. Отдельные гигиенические вопросы применительно к условиям длительного космического полета были рассмотрены в докладе В. В. Борщенко с соавторами. На секции рассматривались различные аспекты физиологии и патофизиологии анализаторных систем в докладах и сообщениях Е. Я. Фролова с соавторами, Э. В. Лаптева с соавторами, В. К. Артишук с соавторами, В. В. Усачева с соавторами и Ю. В. Крылоза. Интересным было сообщение Т. А. Михайловой о связи общей и космической биологии на примере развития проблемы ускорения. Материалы, доложенные на секции, представляют результаты работы за прошедший год в области авиакосмической медицины, и обсуждение их на секции дает возможность поставить ряд новых задач и подготовиться к решению новых проблем, возникающих в связи с быстрым развитием пилотируемых космических полетов.

На секции «Системы обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей летательных аппаратов» (руководители — профессор В. Н. Правецкий, кандидаты технических наук Н. М. Самсонов и Р. И. Утямышев) и трех ее подсекций рассматривался ряд проблем этого направления. В. Н. Правецкий в своем сообщении рассмотрел основные вопросы жизнеобеспечения экипажа летательного аппарата применительно к его технологической деятельности. Р. И. Утямышев рассказал о современной авиационно-космической медицинской технике, в том числе и о ряде приборов, используемых космонавтами во время космических полетов как на космических кораблях, так и на борту орбитальной станции.

На подсекции по проблемам биомеханики, эргономики и технических средств безопасности экипажей летательных аппаратов наиболее интересными были сообщения В. А. Богданова, В. Т. Осташчука и многих других. На подсекции по проблемам обеспечения теплового режима летательного аппарата с интересными материалами выступили С. Н. Логинов, В. В. Малоземов и ряд других авторов. Новые результаты были доложены и на подсекции по системам регенерации газов и жидкостей на борту летательного аппарата. Работой подсекции руководил Н. М. Самсонов.

На секции «Авиационная и космическая техника» (руководители — доктор технических наук, профессор О. А. Чембровский,

ведущий инженер А. Т. Улубеков) рассматривались частные вопросы, связанные с разработкой отдельных частей и агрегатов летательных аппаратов. Наибольший интерес вызвали доклады: А. П. Бессонова с соавторами о некоторых вопросах механики локомобионного шагающего робота как системы с переменной структурой, Е. И. Воробьева о динамическом синтезе программных движений манипуляторов, Л. В. Петросяна и С. П. Буслаева об одном методе расчета удара космических аппаратов о поверхность деформируемого грунта.

Секция «Технология в космосе» (руководители — доктор технических наук, профессор И. Т. Беляков, кандидат технических наук, доцент Ю. Д. Борисов) рассматривала проблемы производства материалов, сборки, ремонта и обслуживания летательных аппаратов. Наиболее интересными были доклады и сообщения: В. С. Авдучевского, С. Д. Гришина о технологическом эксперименте по диффузии на станции «Салют-5», В. С. Земского с соавторами о механизме массопереноса при кристаллизации в полях инерции и гравитации, И. Т. Белякова с соавторами о принципах создания специальных экспериментов.

В работе секций VIII Гагаринских чтений от 85 организаций приняли участие 738 специалистов и студентов старших курсов вузов. В числе участников работы секций — 47 докторов наук, 202 кандидата наук, 396 инженеров, 42 врача и 51 студент старших курсов. По 205 докладом и сообщениям было задано 434 вопроса, а в обсуждении доложенных материалов приняли участие 66 человек. В целом работа секций отличалась большой содержательностью, что по ряду вопросов вызвало оживленное творческое обсуждение и способствовало установлению более тесного сотрудничества специалистов, работающих в смежных областях.

На заключительных пленарных заседаниях выступили академики Н. П. Дубинин, А. Ю. Ишлинский, летчик-космонавт СССР А. А. Леонов, члены-корреспонденты АН СССР В. С. Авдучевский и Б. В. Раушенбах, доктора наук Н. М. Скоморохов, Г. С. Нариманов, К. А. Люшинский, которые познакомили с работами, проведенными учеными, космонавтами и специалистами различных областей науки по познанию тайн Вселенной и подчинению их воле и разуму людей, по использованию и исследованию космоса во имя мира и прогресса на Земле. Пленарные заседания проходили в Военно-Воздушной академии им. Ю. А. Гагарина, в Доме ученых Академии наук СССР и в Центральном Доме авиации и космонавтики им. М. В. Фрунзе. На трех пленарных заседаниях участвовали 1550 человек, а всего вместе с участниками работы секций в чтениях приняли участие 2288 человек.

С 31 марта по 4 апреля проходили IV студенческие Гагаринские чтения. На студенческих чтениях в шести секциях перед аудиторией в 549 человек выступили с докладами 70 студентов из пяти вузов г. Москвы. В этом году студенческие чтения были посвящены Всемирному дню авиации и космонавтики и 60-летию

Ленинского комсомола. Студенты Московского авиационного технологического института им. К. Э. Циолковского, Московского авиационного института им. С. Орджоникидзе, Московского высшего технического училища им. Н. Э. Баумана, Второго медицинского института на заседаниях секций рассказали о первых шагах, которые они делают с помощью своих научных руководителей в области развития авиации и космонавтики. На двух пленарных заседаниях, в которых приняло участие более 700 студентов, выступили Генеральный конструктор Алексей Андреевич Туполев, летчик-космонавт СССР Юрий Николаевич Глазков, а также профессора В. М. Карагодин, Е. А. Коваленко, Г. П. Леонов.

В итоге проведения VIII Гагаринских чтений (вместе со студенческими) перед аудиторией в 3537 человек выступили 214 ученых, космонавтов, инженеров и врачей, а также 70 студентов старших курсов.

Гагаринские чтения, став традиционными, ежегодно собирают огромную аудиторию и вносят достойный вклад в творческий труд космонавтов, ученых, инженеров, биологов и врачей, направленный на развитие космических полетов, космических исследований и дальнейший технический прогресс. С каждым годом заметно растет научный уровень чтений. Они становятся все более содержательными, привлекая к себе все большее количество участников.

✱

О ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКАДЕМИКА СЕРГЕЯ ПАВЛОВИЧА КОРОЛЕВА

А. Ю. ИШЛИНСКИЙ

С именем великого инженера и ученого нашей Родины, академика Сергея Павловича Королева связаны эпохальные события человеческой цивилизации: запуск первого искусственного спутника Земли, достижение Луны и Венеры, беспримерный полет в космос нашего славного соотечественника Юрия Гагарина. Много замечательного было сделано Сергеем Павловичем и до этих свершений, и после них. Все созданное им образует единое целое, имя которому — движение вверх, все дальше и дальше от Земли, со все более и более возрастающими скоростями. Многогранна цель такого движения. Это — и освоение безмоторного полета на планерах своей конструкции, и конструирование оригинального легкого самолета; это — разработки первых крылатых ракет с жидкостным двигателем, конструирование ракетоплана и установка реактивных ускорителей на боевых самолетах; это, наконец, — создание мощных баллистических ракет для обороны страны, космических автоматических станций и космических кораблей различных назначений, вплоть до полетов на Луну и планеты нашей Солнечной системы — Венеру, Марс...

Жизнь Сергея Павловича Королева — сплошное яркое горение до самой трагической смерти после хирургической операции, в расцвете творческих сил и великих замыслов, пятидесяти девяти лет, 14 января 1966 г.

Вот его краткая биография, написанная им самим в 1952 г. «Родился 30 декабря 1906 г. в Житомире. Отец — учитель, мать — учительница. Отца лишился трех лет от роду и воспитывался матерью, а с десятилетнего возраста — на средства отчима, по специальности инженера-механика.

В настоящее время отчим мой, Баланин Григорий Михайлович, доцент Московского института инженеров транспорта, а мать на пенсии. Братьев и сестер не имел.

Среднее образование получил, окончив две последние группы Строительной профшколы в Одессе, получив специальность рабочего-строителя черепичника. Далее учился два с половиной года на аэромеханическом отделении Киевского политехнического института, а в 1927 г. в связи с закрытием в КПИ этого отделения был переведен на аэромеханический факультет МВТУ им. Баумана в Москву. МВТУ окончил в 1929 г., защитив в качестве дипломного проекта проект построенного к тому времени и летавшего легкого двухместного самолета своей конструкции.

В 1930 г. без отрыва от производства окончил Московскую школу летчиков.

За весь период учебы жил на свой заработок, работая с 1924 до 1927 г. на разной работе (разносчиком газет, столяром и др.).

С 1927 г. начал работать на заводах Всесоюзного авиационного объединения (в частности, в ЦАГИ).

Имел свои осуществленные конструкции легких самолетов и планеров, а также выполнял ряд печатных работ по авиационной технике.

С 1929 г., после знакомства с К. Э. Циолковским и его работами, начал заниматься вопросами ракетной техники. Вначале руководил по совместительству одной из первых групп по ракетной технике (бывшей ГИРД), а затем перешел на постоянную работу в этой области с 1933 г., где и работаю до настоящего времени.

Имею за период до 1951 г. сорок работ, научных трудов и проектно-конструкторских разработок по авиации и специальной технике (перечень см. особо).

Отметим прежде всего, что талант конструктора и интерес к авиационной технике пробудились у С. П. Королева уже в юные годы. На планерах, которые с 1929 г. начал конструировать и строить Сергей Павлович, он превосходно летал сам. Некоторые из них были особенные. Они отличались повышенной прочностью, чуть ли не вдвое большей удельной нагрузкой на крыло. Недаром на планере СК-3 «Красная звезда» известный летчик В. А. Степанчонок в Коктебеле впервые в мире совершил мертвую петлю Нестерова, да не одну, а три подряд. Сергей Павлович словно сразу готовил свои планеры — а так оно в сущности и было — для установки на них реактивного двигателя, т. е. для превращения их в ракетопланы.

Свой дипломный проект Сергей Павлович выполнил под руководством знаменитого авиаконструктора Андрея Николаевича Туполева, впоследствии академика. Проект содержал разработку легкомоторного самолета «СК-4». Этот самолет был построен и проходил в 1930 г. летные испытания, но потерпел аварию на взлете из-за отказа мотора.

Идеи Циолковского о реактивном движении и полете на другие планеты глубоко проникли в душу молодого инженера и овладели им на всю жизнь. Однако при всем романтическом складе своего характера Сергей Павлович всегда трезво смотрел на вещи, всегда ставил перед собой трудные, но в принципе выполнимые задачи. Он понимал, что нельзя работать одному, что важно привлечь к вопросам реактивного движения общественность. В 1931 г. вместе с Ф. А. Цандером, М. К. Тихонравовым и Ю. А. Победоносцевым он организовал группу изучения реактивного движения — ГИРД, став в 1932 г. во главе ее. Эта группа, работавшая первоначально на общественных началах, разработала под руководством Сергея Павловича и 17 августа 1933 г. запустила первую советскую ракету — прообраз будущих баллистических ракет дальнего действия — с двигателем на гибридном топливе,

а 25 ноября того же года ракета полетела на жидкостном двигателе. Аналогичные группы изучения реактивного движения стали возникать и в других городах Советского Союза.

Вопросам разработки двигателей ракет, или, как тогда говорили, моторов, Сергей Павлович Королев придавал важное значение. Естественно, что он стремился к возможно большему расширению фронта работ по реактивным двигателям и к содружеству с другими коллективами.

В Ленинграде с 1929 г. Газодинамическая лаборатория (ГДЛ), существовавшая с 1921 г. на государственном бюджете, стала разрабатывать под руководством В. П. Глушко электрические и жидкостные ракетные двигатели. В результате объединения обеих организаций в конце 1933 г. в Москве возник первый в мире Реактивный научно-исследовательский институт (РНИИ), финансируемый государством. А уже к маю 1934 г. С. П. Королев в содружестве с Е. С. Шетинковым создал и испытал в полете первую советскую крылатую ракету.

Сергей Павлович придавал большое значение пропаганде идей реактивного движения, связанных с конкретными задачами, полезными для советской науки и техники, для обороны страны. В 1934 г. Сергей Павлович выступил на конференции по изучению стратосферы, организованной в Ленинграде Академией наук, с докладом о полете реактивных летательных аппаратов в стратосферу, а в 1935 г., уже в Москве, прочел сообщение «Крылатые ракеты и применение их для полета человека». Он написал в высшей степени полезную книгу «Ракетный полет в стратосфере», изданную в 1934 г., и призывал специалистов писать книги и брошюры практического содержания для лиц, занимающихся развитием реактивной техники. По инициативе ГИРД еще в 1932 г. в Москве были организованы инженерно-конструкторские курсы, на которых прочли лекции видные советские ученые, и в их числе будущий академик Борис Сергеевич Стечкин, изложивший свою теорию воздушно-реактивных двигателей. Замечательно, что уже тогда, в 1932 г., сорок пять лет назад, на этих курсах были прочитаны лекции по физиологии высотного полета одним из основателей авиационной медицины — Н. М. Добротворским.

В РНИИ Сергей Павлович Королев разработал ряд крылатых ракет с автоматическим управлением. Испытания этих ракет показали Сергею Павловичу, насколько необходимо внимание к вопросам надежности конструкции в целом, к тщательной отработке двигателей (моторов) и, о чем как-то пишут меньше, систем управления — автопилотов. Первый полет летчика-испытателя В. П. Федорова на ракетоплане, созданном на основе планера «СК-9» конструкции С. П. Королева, состоялся 28 февраля 1940 г. Интерес к ракетопланам сохранился и в настоящее время, особенно в связи с конструированием летательных аппаратов многократного действия для транспортировки космонавтов, приборов и материалов с Земли на орбитальные станции и обратно.

Опыт, полученный при испытании крылатых ракет, был использован советскими конструкторами при установке ракетных двигателей-ускорителей на серийно выпускаемых винтомоторных самолетах, что значительно повысило их боевые качества. Ракетные двигатели позволяли в течение короткого времени резко увеличить тягу и тем самым быстро набрать высоту или скорость. Особенно успешным было применение таких ускорителей на истребителях «ЯК-3» конструкции академика А. С. Яковлева, где прирост скорости доходил до 180 км/ч. Эти разработки — в одной из них С. П. Королев принимал непосредственное участие — сыграли определенную роль в Великой Отечественной войне и подготовили почву для создания ракетного оружия чисто баллистического типа.

Новый этап творческой деятельности С. П. Королева начался в 1946 г., когда он был назначен Главным конструктором по созданию советских комплексов автоматически управляемых баллистических ракет дальнего действия. Международная обстановка, состояние «холодной войны», окружение Советского Союза сетью авиационных и морских военных баз США, оживление реваншистских настроений в Западной Германии, тогдашняя монополия США на атомное оружие — все это вынудило Советский Союз приложить заметные усилия для укрепления своей оборонной мощи. И ракетному оружию отводилось здесь одно из первых мест. Стало ясно, что баллистическая ракета может транспортировать атомное оружие.

Назначение Сергея Павловича Главным конструктором было совершенно закономерным: крупнейший инженер и ученый в области ракетной техники, выдающийся организатор, человек с широким горизонтом знаний, смелый, решительный и вместе с тем трезво оценивающий трудности, умеющий выбрать главные направления прогресса ракетной техники и сочетать их с долгосрочной перспективой космических исследований.

Были назначены наряду с Сергеем Павловичем главные конструкторы по двигателям, по системе автономного управления, по гироскопическим приборам, по системе радиоуправления и по средствам наземного оборудования и стартовым установкам. Главные конструкторы отдельных систем, имевшие большой опыт в соответствующих областях техники, были достойными соратниками С. П. Королева. Под его руководством был образован знаменитый Совет главных конструкторов, сыгравший большую роль в принятии и проведении в жизнь основных научно-технических решений по развитию ракетно-космической техники.

Если у соратников С. П. Королева были и научно-исследовательские кадры, и специализированные производства, то ему самому, принявшему на себя решение вопросов общей компоновки, конструирование и изготовление корпусов и сборку ракет, а в дальнейшем и космических кораблей, пришлось начинать практически с голого места. Необходимо было также организо-

вать испытательные команды на вновь создаваемых полигонах, строить там монтажные корпуса со стендами и лабораториями.

Центральный комитет КПСС и Правительство уделяли исключительное внимание становлению и развитию ракетно-космической техники. К решению этой труднейшей задачи были привлечены все основные отрасли промышленности, министерства и ведомства, заводы, конструкторские бюро, научно-исследовательские институты и высшие учебные заведения. Собственно, была разработана и осуществлена новая структура организации выполнения сложной научно-технической программы. В ней конструкторское бюро, возглавляемое Сергеем Павловичем, стало головным, обеспечивая практическую реализацию программы — от научно-технической идеи до производства ракет и космических кораблей. Такая форма организации эффективна и по сей день.

Можно только поражаться его исключительному таланту организатора, сумевшего привлечь к себе многие десятки и сотни талантливых людей и создать крепко спаянный коллектив. Коммунисты этого коллектива приняли Сергея Павловича в ряды партии. Он был делегатом XXI и XXII съездов КПСС и с честью носил звание члена партии до конца своей жизни.

Сергей Павлович понимал необходимость широкой кооперации научно-исследовательских институтов, предприятий и других организаций для создания, испытаний и отработки баллистических ракет дальнего действия и налаживал эту кооперацию с исключительной энергией. Как правило, никто не мог отказать Сергею Павловичу помочь общему делу. Его личное обаяние, умение найти время поговорить «по душам» с учеными, рядовыми конструкторами у их досок, с инженерами, техниками и рабочими во многом способствовали успеху.

Прошло всего два года, и осенью 1948 г. первая советская ракета дальнего действия «Р-1» уже стояла на старте.

Далее последовали новые разработки отечественных баллистических ракет дальнего действия. Одна из лучших ракет этого класса экспонируется теперь у входа в Музей Вооруженных Сил в Москве, вблизи Дома Советской Армии.

Позже была создана межконтинентальная ракета. В августе 1957 г. она совершила свой первый успешный полет. Эта ракета — одна из вершин инженерного гения С. П. Королева. Как правило, С. П. Королев стремился продвигаться вперед умеренными шагами: постепенно, но уверенно, с большой надежностью самой конструкции и всех содержащихся в ней приборов и устройств переходить от одной ракеты к другой, качественно отличной.

В данном случае это был, напротив, в известной мере революционный скачок от одноступенчатой конструкции средней величины к многоблочной системе, и сейчас впечатляющей своими грандиозными размерами. Смелое решение С. П. Королева создать очень большую ракету сразу сняло множество трудных вопросов

о необходимости обеспечения большой надежности ряда бортовых систем, в частности комплекса приборов и органов управления. Можно было не так беспокоиться об их весе. То же относилось к командным приборам — гироскопам, радиосистемам, системам телеметрии, прочности корпуса ракеты в целом. Надежность ракеты обеспечивалась также «колумбовым» решением запуска всех двигателей с камерами сгорания одновременно на старте. Отпадали все сложности с запуском двигателя верхней ступени на высоте в вакууме. Не нужно было тащить с собой бездействующую, как в других схемах многоступенчатых ракет, верхнюю ступень, пока не отработают нижние.

Конструирование и расчет, а в дальнейшем и устранение некоторых поначалу загадочных неполадок потребовали большой научно-исследовательской работы. Очевидно, что чем длиннее ракета, тем труднее стабилизировать ее полет, даже если ракета была бы абсолютно твердым телом. А на самом деле она заметно упруга. Честь и хвала так называемым управленцам, что они справились с этой труднейшей задачей. Удалось справиться и с самопроизвольно возникающими, так называемыми продольными, колебаниями ракеты, которые происходили с возрастающей амплитудой в осевом направлении.

Гироскопические приборы для ракеты должны были обладать исключительной точностью, несмотря на наличие большой вибрации мест их крепления на борту ракеты. Нетрудно рассчитать, что для межконтинентальных пусков на дистанцию, скажем, в четверть большого круга Земли ошибка в определении скорости ракеты в конце активного участка на 0,01 %, т. е. около 0,7 м/с, уже влечет за собой перелет или недолет ракеты примерно на 7 км. На такое же расстояние отклонится ракета в боковом направлении, если плоскость ее полета повернется по сравнению с расчетом всего лишь на 4 м.

Немалые трудности пришлось преодолеть конструкторам радиосистем и систем телеметрии. Достаточно указать на экранирующее действие плазменных струй, исходящих из камер сгорания работающих двигателей, и на необходимость обеспечить надежную работу всех устройств в условиях вибрации.

До сих пор вызывает восхищение исключительная надежность двигателей всех ступеней ракеты.

Ни на минуту не отвлекаясь от основной работы по созданию мощных баллистических ракет дальнего действия, С. П. Королев не переставал быть верным своей мечте о завоевании космоса. Уже первые ракеты его Особого конструкторского бюро использовались для полетов на высоту 100, 200, 500 км с научной аппаратурой и животными. Сергей Павлович Королев называл их академическими. В их создании принимал участие академик А. А. Благонравов, который в дальнейшем с большим тактом и скромностью отстаивал за рубежом приоритет в достижениях Советского Союза по освоению космоса. Геофизические ракеты дали большой

научный материал по исследованию верхних слоев атмосферы и для биологии.

Сергей Павлович ясно понимал, что следующий, совсем небольшой шаг отделяет от запуска, пусть сначала и небольшого, искусственного спутника Земли. Однако именно этот шаг произвел колоссальное впечатление на весь мир, который воочию увидел уровень научно-технического потенциала Страны Советов, силу и мощь ее рабочего класса, уровень квалификации техников, инженеров и ученых, руководимых великой партией Ленина. Искусственный спутник обессмертил имя Сергея Павловича Королева и возвестил о начале космической эры.

Последующие два спутника как бы наметили две линии развития космонавтики: подготовка и осуществление полета кораблей с космонавтами на борту и посылка в космос автоматических устройств, вплоть до их посадки на другие небесные тела, и возвращение назад, на Землю. Обе линии можно проследить и по сей день. Долговременное пребывание наших космонавтов на орбитальной станции «Салют», совместный полет и стыковка на орбите советского и американского космических кораблей «Союз» и «Аполлон», с одной стороны, а с другой — спутники радиосвязи, метеорологические спутники и доставка грунта с Луны на Землю, полет и мягкая посадка на Венеру и Марс.

Однако вернемся к временам первого искусственного спутника Земли. Не прошло и двух лет после его запуска, как весь мир стал свидетелем другого эпохального события. Достигнуты второй космической скорости (11,2 км/с), третья ступень ракеты «Восток», пройдя в начале января 1959 г. вблизи Луны, стала первой искусственной планетой нашей Солнечной системы. В сентябре того же года такая же ракета впервые достигла поверхности Луны, о чем мечтали фантасты всех времен и народов. Мало того, месяцем позже ракета с другим аппаратным оснащением обогнула Луну, сфотографировала ее обратную сторону и передала по радио этот снимок на Землю.

Все это, конечно, досталось большим трудом. Были и неудачи. Нередко на первых порах попытки инженеров и ученых дать им объяснение приводили в тупик. При неполадках и авариях Сергей Павлович огорчался, однако быстро приходил в себя и смотрел не только с надеждой, но и с уверенностью на будущее. И был всегда прав. Любопытно, каков был путь к истине на космодроме. Было такое помещение, которое почему-то в шутку называлось «банкобус». При выяснении причины неудачи там собирались главные конструкторы и ученые. Выдвигали и обсуждали возможные гипотезы, почему тот или иной полет ракеты оказался аварийным. Анализировали записи телеметрических данных о режиме полета и показания бортовых приборов ракеты. Важно было находиться вместе, позволяя себе иногда, для отдыха, отвлекаться на посторонние темы. Разумеется, подсознательно продолжали думать все о том же. Время от времени появлялся Сергей Павлович и нередко

разбивал вдребезги очередную появившуюся гипотезу, объяснявшую неудачный эксперимент, или новое предложение мер устранения неполадок. И все начиналось сначала. Однако в конце концов правильное решение находилось.

Не обходилось и без курьезов, так как действительность нередко оказывается весьма далекой от всех умозрительных предположений. Как-то при проверке в МИКе (монтажно-испытательном корпусе) системы управления центрального блока одной из ракет были обнаружены странные нарушения в работе электроцепей. Немедленно было дано элегантное объяснение этому, основанное на предположении, что параметры некоторых элементов были за пределами допустимых значений. Даже было указано, каковы значения этих параметров. Однако при осмотре бортовых кабелей обнаружилось, что просто один из них имел излом из-за монтажа со слишком резким изгибом в одном месте, как это требовалось согласно чертежу. Пришлось заменить кабель и изменить чертеж, чтобы подобное не повторялось впредь.

Сергей Павлович придавал большое значение технической документации. Иногда многим казалась пустой формалистикой запись простейшей корректировки чертежа и очевидных изменений программы испытаний. Однако Сергей Павлович требовал все пунктуально зафиксировать, поставить на документе дату, подписи ответственных лиц и далее поместить в надлежащее дело. Действительность показала, насколько он был прав в таких случаях.

Особую опасность представляют в ракетном деле, да и в других отраслях техники, так называемые самоустраняющиеся неполадки. Во что бы то ни стало вновь воспроизвести в лабораторных условиях наблюдавшийся в полете эффект отклонения от нормы в работе какой-либо из систем ракеты — один из главных принципов работы Сергея Павловича как инженера.

Нельзя не отметить большое значение непосредственного участия Сергея Павловича в руководстве подготовкой и запуском космических ракет, его умение поддержать товарищей в трудную минуту. В ряде случаев он не боялся взять на себя всю ответственность за проведение мероприятий, благополучный исход которых далеко был не очевиден. В жару и стужу, в снежный буран и пыльную бурю он сутками не уходил со стартовой площадки, если необходимо было устранить намечающееся замедление хода подготовки ракеты к пуску. Его называли «рабочим космоса в три смены». Это же относилось к его ближайшим соратникам, которых он загружал до предела во имя достижений поставленной цели.

Первые запуски лунных ракет производились «прямой наводкой», без предварительного вывода на промежуточную орбиту искусственного спутника Земли и без дополнительных коррекций полета по пути к Луне. Это требовало не только чрезвычайной точности гироскопических приборов и интеграторов кажущейся скорости, но и запуска ракеты в расчетное время с точностью бук-

вально до нескольких секунд. И вот однажды непосредственно перед пуском очередной лунной ракеты отказали электромоторы 30-метровой фермы обслуживания. Они опускали ее на основание — специальную железнодорожную платформу с дополнительными упорами (для устойчивости) на бетон стартовой площадке. Леонид Александрович Воскресенский — один из заместителей Главного конструктора, по смелости, решительности и четкости подставить самому Сергею Павловичу, внес предложение: снять упоры и отвести назад платформу с высоченной фермой, казалось готовой упасть набок. Технически правильное решение тут же было принято, и ракета отправилась к Луне вовремя.

Сергей Павлович умел выслушивать мнение других и считаться с ним. Внешне он был строг. Высокое чувство ответственности никогда не покидало его. Для него не было мелочей. Ничто так не приводило Сергея Павловича в бешенство, как халатное и безответственное отношение к поручениям. Вместе с тем он помнил добро, оказанное ему самому и возглавляемому им делу, и всегда приходил на помощь своим сотрудникам в трудные минуты их житейских невзгод.

Прошло немного времени, и навсегда вошедшие в историю человечества события, связанные с запуском искусственного спутника Земли и лунных ракет, как бы уступили место еще большему, неслыханному, когда 12 апреля 1961 г. в космос полетел Юрий Алексеевич Гагарин. Не буду рассказывать здесь о том колоссальном эффекте, который произвел на весь мир этот изумительный полет. Всем это хорошо известно. С тех пор день 12 апреля стал в СССР Днем космонавтики.

Отмечу лишь колоссальную научную и техническую подготовку к этому полету. Она началась с запуска на орбиту спутника Земли, научно-исследовательских космических кораблей с животными. Корабли автоматически спускались обратно с орбиты спутника на Землю по радиокоманде в результате тормозящего импульса от специального, очень надежного двигателя конструкции Алексея Михайловича Исаева.

Первый пуск был не совсем удачным. Из-за неполадки в системе ориентации спутник получил неверный импульс и поднялся еще выше. Однако нет худа без добра. Сергей Павлович посылает одного из ученых в Москву, к академику А. С. Топчиеву выяснить, почему спекаются зубчатые колеса механизма одного из приборов ориентации при работе их в космическом вакууме. Академик П. А. Ребиндер и другие ученые не только дают объяснение, но и предлагают средство борьбы с таким неприятным явлением. Дальше все пошло лучше, летали в космос собачки Белка и Стрелка, Чернушка и манекены, выбрасываемые на парашюте для отработки средств приземления космонавта.

Насколько тщательно был подготовлен технически и медико-биологически первый полет человека на космическом корабле, свидетельствует следующий перечень проверок систем, произво-

димых на предшествующих пуску Гагарина исследовательских спутниках с животными. Проверялись: радиотелеметрическая аппаратура, система управления, аппаратура терморегулирования, тормозная двигательная установка, рулевые сопла и баллоны с запасами сжатого газа для системы ориентации и стабилизации спутника на орбите, датчики научной аппаратуры, антенны, жалюзи системы терморегулирования, а также солнечные батареи на двух полудисках метрового диаметра, которые постоянно ориентировались на Солнце автономным приводом. Для контроля за состоянием животных в полете регистрировались: артериальное давление, электрокардиограммы, тоны сердца, частота дыхания, температура тела, двигательная активность животных. Для наблюдения за поведением животных на борту корабля были установлены две малогабаритные телевизионные камеры. При полете в зоне радиовидимости наземных пунктов изображение передавалось на Землю.

Барометрическое давление внутри корабля поддерживалось близким к давлению на уровне моря при концентрации кислорода 20—25% и углекислого газа менее 1%, а температура воздуха — в пределах 15—25° С при относительной влажности 30—70%. Кроме того, производилась очистка воздуха от вредных примесей и выделений животных.

В герметической кабине и на одежде собак Белки и Стрелки были установлены дозиметры для измерения ионизирующей радиации. На борту второго космического корабля находились также небольшие участки кожи человека и кролика в целях выяснения возможного влияния факторов космического полета на особо чувствительные клеточные системы. В катапультируемом контейнере были, кроме того, клетки с двенадцатью мышами, насекомыми, растениями, грибковыми культурами, семена кукурузы, пшеницы, гороха, лука, некоторые виды микробов и другие биологические объекты. Вне катапультируемого контейнера в кабине корабля были помещены двадцать восемь лабораторных мышей и две белые крысы.

Сергей Павлович очень беспокоился об исходе первого эксперимента с полетом человека на борту космического корабля. Неудача могла вызвать неблагоприятное отношение общественности к космическим полетам вообще и затормозить дело. Ну, скажем, так, как это было в свое время с полетами людей на самолетах и дирижаблях. А этого допустить было нельзя.

Жизненный запас кислорода у Гагарина был на десять дней полета. Значит, надо было, если откажет система спуска посредством тормозящего импульса двигателя, чтобы спутник вошел в плотные слои атмосферы и приземлился за меньшее время вследствие естественного торможения в ее верхних слоях. Поэтому ужесточались параметры орбит предшествующих пусков, особенно трех последних, — удаление от поверхности Земли в перигее 187,3; 183,5 и 178,1 км и соответственно в апогее 265, 249 и

247 км. При полете у Гагарина перигей орбиты отстоял от Земли на 181 км, а апогей — на 327.

Для большей надежности запуск тормозного двигателя осуществлялся временным механизмом. Одновременно это способствовало меньшему отклонению от намеченной точки посадки. При апогейном расстоянии, большем расчетного, вследствие несколько меньшей скорости движения космического корабля (в силу законов Кеплера) торможение начиналось в месте, расположенном к старту хотя и ближе расчетного, но одновременно и выше. Спускаясь, корабль в этом случае, как и нужно было, должен был пролететь дальше, и, таким образом, влияние одного обстоятельства в значительной мере компенсировало влияние другого.

Нельзя не отметить и большие научно-исследовательские работы по газодинамике и тепло-массообмену, которые надо было сделать для расчета минимально достаточной толщины теплозащитной обшивки на корабле. При неверном расчете корабль сгорел бы из-за мощного разогрева при прохождении плотных слоев атмосферы во время спуска.

Практические задачи космических полетов породили новые разделы наук. Здесь и вопросы активной угловой стабилизации космических кораблей, оптимального изменения их ориентации, пассивной стабилизации спутников на орбите за счет градиента поля земного тяготения, использования притяжения близких небесных тел для достижения удаленных с минимальным расходом горючего и окислителя, а также новые биологические проблемы жизни в невесомости и разработка технологических процессов в космосе.

Сергей Павлович видел всю конструкцию, всю ракету, весь комплекс пуска и весь дальнейший полет космического корабля как единое целое, как систему с очень большим числом параметров, — сказали бы мы теперь. Как-то, кажется, перед пуском Титова, на очередном техническом совещании, предшествовавшем пуску, он произнес, как бы размышляя про себя, однако так, чтобы все слышали, что он беспокоится главным образом не о том, что при подготовке к пуску были допущены оплошности, отклонения от технических требований и инструкций, небрежное отношение к делу, а о том, что пока неизвестные ему параметры системы были на прошлых пусках в норме, а в этом пуске, будучи неконтролируемыми, могут случайно оказаться за пределами, обеспечивающими нормальный полет космического корабля и его возвращение. Это — глубокая мысль о технике вообще. Мысль великого инженера.

Действительность показала, что такие параметры постепенно проявляли себя и, увы, не всегда благополучным образом. Однако обнаружить их можно было лишь в летном эксперименте. Поэтому наряду с теоретическим и экспериментальным анализом на Земле Сергей Павлович всегда призывал к изучению фактического поведения всех комплексов ракеты, ее приборов и двигателей в дей-

ствии. «Надо летать!» — знаменитый его постоянный призыв, который многие соприкасавшиеся с Сергеем Павловичем, без сомнения, помнят. Теперь, когда практикой пройден большой путь и главные существенные параметры всех бортовых систем выяснены, стало куда проще рассчитать ракетоноситель или космический корабль так, чтобы все было благополучно с первого же запуска. Во времена Сергея Павловича это было не так, и требовался его великий талант инженера и организатора, чтобы сделать все как следует, с наименьшими затратами сил и средств.

Вот один из таких непредвиденных параметров. Возвращаясь из своей феерической «прогулки» в открытый космос, А. А. Леонов лишь в результате больших усилий смог влезть в шлюз. Помехой были, в частности, центробежные силы инерции, обусловленные недостаточно сниженной угловой скоростью механической системы космического корабля по отношению к небесной сфере. Попутно отметим исключительно оригинальную конструкцию самого шлюза, отделявшего внутренность корабля от космического вакуума. Стенки шлюза составляли отрезки своеобразных шлангов, наполненных сжатым воздухом, — так называемые аэробалки.

Контроль за остаточным значением угловой скорости особенно необходим при осуществлении стыковки одного корабля с другим и с орбитальными космическими станциями. Первая стыковка, осуществленная 30 октября 1967 г., также была задумана и разработана под руководством С. П. Королева.

Сергей Павлович предвидел практическое земное приложение космонавтики. Первые «Молнии» — спутники для ретрансляции радио, телевидения и телефонной связи — были разработаны еще при его жизни и появились в 1965 г. Затем, в 1967 г., последовали «Метеоры» — спутники для наблюдения за атмосферой планеты и ее растительным покровом. Словно могучим откликом на эти начинания звучат теперь слова решений XXV съезда КПСС: «Продолжить изучение и освоение космического пространства, расширить исследования по применению космических средств при изучении природных ресурсов Земли, в метеорологии, океанологии, навигации, связи и для других нужд народного хозяйства... Предусмотреть более широкое использование искусственных спутников Земли, в первую очередь для обеспечения телевизионным вещанием районов Западной и Восточной Сибири и для телефонно-телеграфной связи с отдаленными районами страны» [1].

Сергей Павлович Королев был прежде всего великим инженером нашей страны. Как крупнейший инженер и ученый, он был избран в 1953 г. членом-корреспондентом Академии наук, а в 1958 г. — действительным членом и вскоре членом Президиума, чем очень гордился. Он был верным сыном Родины, коммунистом, преданным идеям партии и народа до последней капли крови. Вместе со своими соратниками, вместе с руководимыми им коллективами, производственными и научными, он, и прежде всего он

лично, прославил страну великого Ленина на века как родину первого искусственного спутника Земли, первого полета человека в космос, первого достижения Луны и других эпохальных событий космической техники. Имя его, истинного отца первого спутника Земли, увековечено народом в памятниках, мемориалах, наименованиях горных образований Земли и Луны, кораблей, улиц и учебных заведений, в дипломах, стипендиях, в литературе, изобразительном искусстве, кино, научных чтениях, в новых исследованиях и достижениях космонавтики.

В речи Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л. И. Брежнева на 250-летнем юбилее Академии наук С. П. Королев был назван в числе первых, чьи бессмертные дела обогатили человеческую цивилизацию, кто навсегда прославил отечественную и мировую науку.

Хорошо сказал академик А. А. Благонравов в день мягкой посадки «Луны-9» на поверхность Луны, менее чем через месяц после кончины С. П. Королева, что этот замечательный космический аппарат, созданный под непосредственным руководством Сергея Павловича, является как бы вечным памятником ему на Луне. То же можно сказать и о первых космических аппаратах, достигших поверхности Венеры и Марса.

Пусть вещими станут слова великого гражданина Советского Союза Сергея Павловича Королева: «С берега Вселенной, которым стала священная земля нашей Родины, не раз уйдут в неизведанные дали советские корабли, поднимаемые мощными ракетоносителями. Их полет и возвращение будут великим праздником советского народа, всего передового человечества — победой разума и прогресса» [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976, с. 215.
2. Асташенков П. Т. Орбиты главного конструктора. М.: Изд-во ДОСААФ, 1973, с. 5.

✱

Ю. А. ГАГАРИН — ПЕРВЫЙ ГРАЖДАНИН ВСЕЛЕННОЙ

А. Г. НИКОЛАЕВ

Имя Юрия Гагарина стало символом нашего века, примером дерзновеннейших деяний современного человека. Внук путиловского пролетария, сын крестьянина, рабочий, военный летчик, первый в мире космонавт — коммунист Юрий Гагарин положил к ногам человечества ключ от Вселенной.

Его полет в космос олицетворяет все лучшее, что создано человеческим разумом. Это начало новой космической эры, предоставившей право считать своим домом всю бескрайнюю Вселенную.

Мы никогда не забудем слов Юрия Гагарина в предстартовый час: «Счастлив ли я, отправляясь в космический полет? Конечно, счастлив. Ведь во все времена и эпохи для людей было высшим счастьем участвовать в новых открытиях» [1].

Беспримерный подвиг коммуниста Ю. А. Гагарина — это подвиг многомиллионного народа страны победившего социализма, торжество ленинской политики КПСС.

Это яркое подтверждение гениального предвидения выдающегося русского ученого, основоположника теории межпланетных полетов Константина Эдуардовича Циолковского, который в 1935 г. писал в ЦК Всесоюзной Коммунистической партии (большевики): «...все свои труды по авиации, ракетоплаванью и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды» [2].

Имя Юрия Гагарина, достойного воспитанника Советской власти, золотыми буквами вписано в летопись нашей Родины. Указом Президиума Верховного Совета СССР Юрию Алексеевичу Гагарину было присвоено звание Героя Советского Союза и летчика-космонавта СССР.

В ознаменование первого в мире полета советского человека в космос установлено празднование Дня космонавтики ежегодно — 12 апреля. В декабре 1968 г. сессия Генеральной конференции Международной авиационной федерации (ФАИ) утвердила положение о золотой медали им. Юрия Гагарина. Эта медаль присуждается ежегодно космонавту, достигшему значительных результатов в освоении космического пространства в мирных целях.

Чествуя подвиг Юрия Гагарина, ФАИ решила 12 апреля отмечать во всем мире как Всемирный день авиации и космонавтики.

В музее Звездного городка хранится телеграмма сенатора Роберта Кеннеди (США) следующего содержания: «...он (Гагарин)



был человеком фантастического мужества, и его полет в космос показал всем нам, чего мы можем достичь в будущем».

Гость Звездного городка американский астронавт Фрэнк Борман говорил: «Ваш спутник заставил меня задуматься о космосе, зажег искру исканий. Полет Юрия Гагарина, который первым проложил дорогу к звездам, стал непревзойденным событием века».

Случайность ли подвиг Юрия Гагарина?

Выдающийся конструктор космических ракет и кораблей, академик Сергей Павлович Королев отмечал, что в своей жизни повидал немало интереснейших людей. Гагарин — особо значительная, неповторимая личность, «Юра — олицетворение вечной

молодости нашего народа. В нем счастливо сочетаются природное мужество, аналитический ум, исключительное трудолюбие» [3]. По словам Гагарина, подвиг не свершается сам по себе, он приходит как естественное завершение прожитой до него жизни.

Ему, простому смоленскому пареньку, пришлось пройти до звездного рейса большую дорогу, похожую на сотни и тысячи других, которыми идут увлеченные мечтой ищущие молодые люди.

Окончив шесть классов, Юрий Гагарин поступил учиться в ремесленное училище № 10 г. Люберцы и окончил его в 1951 г. по специальности формовщика-литейщика. Одновременно он успешно сдал экзамены за седьмой класс школы рабочей молодежи и был направлен Московским управлением трудовых резервов на учебу в Саратовский индустриальный техникум. В 1955 г. Ю. Гагарин получил диплом с отличием по специальности «литейное производство».

Естественно, пытливого, любознательного паренька не могли не увлечь занятия в Саратовском аэроклубе, членом которого он становится, будучи студентом 4-го курса. Любовь к авиации привела его в Чкаловское военное авиационное училище летчиков.

В своей статье «Металл и характер отливаются в труде» Гагарин писал: «Первую моральную и трудовую закалку мне дали рабочий класс, коммунисты. Первыми моими учителями жизни были те, чьими руками создаются материальные ценности человеческого бытия» [4].

Он всегда очень высоко отзывался о школе, которую прошел в наших Советских Вооруженных Силах: «Людей с партийным характером, прямых, честных, относящихся к делу по-государственному, я встречал немало в армии... Они научили меня по-настоящему трудиться на земле и в воздухе... Привычка к труду мне очень пригодилась при освоении профессии космонавта» [4].

Любовь к труду, постоянное стремление к повышению своих знаний, служба в армии помогли ему выработать в себе такие замечательные качества, как преданность Родине, партии, идеалам коммунизма, дисциплинированность, безупречное выполнение долга, храбрость, мужество, скромность.

Став героем, Юрий Гагарин не изменился. Слава не породила у него зазнайства. Напротив, она предъявила к нему высокие требования. Когда его спрашивали об этом, он приводил слова великого Горького о том, что самая высокая должность на земле быть человеком. И какое бы положение каждый из нас ни занимал в мире, он должен прежде всего быть человеком, человеком, полезным для своего общества, своего народа.

И он для всех всегда был прекрасным примером горьковского человека; своим обликом, характером, упорством, трудолюбием, отношением к людям он по праву заслужил это высокое и гордое звание.

Как летчик-космонавт СССР, он настойчиво трудился, непрерывно совершенствовал свое мастерство, был неутомимым и страст-

ным исследователем всего нового в авиационной и космической технике. Он принимал непосредственное участие в обучении и тренировках экипажей космических кораблей, щедро делился опытом со своими товарищами, чем снискал любовь и глубочайшее уважение космонавтов и всех специалистов Звездного городка.

Подготовке и обеспечению каждого нового космического полета он отдавал все свои знания. Провожая в космос друзей, вместе с ними переживая полет, он учил других и учился сам.

В 1968 г. Гагарин с отличием окончил Военно-Воздушную инженерную академию им. профессора Н. Е. Жуковского. Он мечтал о том, когда наши корабли полетят по межпланетным трассам и он вновь сядет за штурвал космического корабля. Во имя этой мечты он работал и жил.

В музее Звездного городка есть мемориальная комната и кабинет Юрия Гагарина. Многочисленные подарки, документы — признание легендарного подвига века. Документы на рабочем столе, записки в календаре — красноречивые свидетели того, что Юрий Алексеевич до последней минуты своей жизни упорно трудился, выполняя долг коммуниста и гражданина.

Посещение музея «Звездного» оставляет непередаваемое чувство гордости за нашу Советскую Родину, страну социализма, идущую уверенно под руководством ленинской партии к коммунизму.

Гагарин и сейчас в строю покорителей Вселенной.

У космонавтов установлена традиция перед выездом на старт приходить к Гагарину в его кабинет-музей. «Покорение космоса стало делом нашей жизни, и всякий раз, когда отправляемся на космические трассы, мы берем с собой светлый образ Юрия Гагарина, его пример мужества, отваги, верности долгу перед нашей великой Родиной», — писали в книге отзывов музея экипажи кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8».

12 апреля 1971 г., в день 10-летия первого в мире полета в космос Юрия Гагарина, в письме в газету «Правда» летчики-космонавты СССР писали: «Дорога в космос, впервые проторенная десять лет назад советским человеком Юрием Гагариным, станет еще длиннее и шире... Каждый из нас — и те, кому еще предстоит впервые подняться на высокую орбиту, — сделает все для того, чтобы еще более упрочить и возвеличить немеркнущую космическую славу нашей социалистической Родины».

Юрий Гагарин был общественным деятелем — депутатом Верховного Совета СССР, членом ЦК Всесоюзного Ленинского Коммунистического Союза Молодежи.

Юрия Гагарина знали во всех уголках земного шара, видели в нем достойного представителя нашего героического народа, положившего начало революционному переустройству мира и идущего в авангарде современного социального прогресса.

Он был пламенным пропагандистом, встречался с сотнями тысяч людей многих стран мира и всюду нес слова правды о нашей

великой Родине, о достижениях советского народа в освоении космоса.

Юрий Гагарин объездил почти полмира, и всюду он призывал к жизнелюбию, дружбе и миру. Своими выступлениями за рубежами Родины он приумножал число наших друзей. И с кем бы он ни встречался, он всех увлекал силой своей коммунистической убежденности, огромным зарядом энергии и работоспособности, неиссякаемым оптимизмом.

Всех подбадривала обаятельная улыбка Юрия, которую знали во всех уголках мира. Его по праву называли первым гражданином Вселенной. Имя Гагарина звучало на всех языках планеты. Все считали его национальным героем.

Американский художник Рокуэлл Кент писал: «Советские друзья, Ваш Юрий — не только Ваш, он принадлежит всему человечеству. И дверь в космос, которую он открыл, распахнута для всех нас» [5].

Жизнь Юрия Гагарина неразрывно связана с Ленинским комсомолом. Как и все советские космонавты, он получил в комсомоле идейную и жизненную закалку, подготовил себя к свершению великого подвига.

Став членом созданной Лениным великой партии коммунистов, первым в мире космонавтом, он принимал активное участие в многогранной деятельности комсомола.

Делегат съездов Всесоюзного Ленинского Коммунистического Союза Молодежи, член ЦК ВЛКСМ, участник многих комсомольских конференций, слетов, международных форумов молодежи и других мероприятий — вот далеко не полный перечень его кипучей комсомольской деятельности.

Он много сил и энергии отдавал благородному делу воспитания молодежи. Наша молодежь училась у него активному отношению к жизни. Он и сейчас остается правофланговым в строю Ленинского комсомола. Имя его носят многие передовые бригады на предприятиях страны, учебные заведения, пионерские дружины.

«Молодежь Страны Советов смело смотрит в прекрасное будущее. Это ей выпало на долю счастье — построить коммунистическое общество. Впереди у каждого молодого советского человека большая и серьезная учеба и работа. Стране нужны инженеры и агрономы, врачи и педагоги, слесари и трактористы. Для человека любой профессии найдется у нас интересное и полезное дело», — писал Гагарин [6].

На примере короткой, но прекрасной жизни Юрия Гагарина воспитывались и будут воспитываться миллионы юношей и девушек нашей страны и всего мира.

Таков был Юрий Гагарин — первый космонавт мира, коммунист, горячий патриот Родины.

Его любят советские люди от мала до велика, которые свято хранят гагаринские традиции, беззаветное служение социалисти-

ческой Родине, упорство и мужество в достижении поставленной цели, непрерывное стремление к совершенствованию в труде, без которого немислима человеческая жизнь.

Успехи нашей Родины в развитии экономики, науки и техники, как в зеркале, отражаются в достижениях советской космонавтики. Они позволяют неуклонно и последовательно выполнять программу развития пилотируемых и автоматических космических аппаратов, использование которых составляет ныне наиболее эффективное и экономичное направление в изучении и освоении космического пространства.

За 18 лет, прошедших с момента полета Ю. А. Гагарина, советская космонавтика прошла путь от первых пробных полетов в неизведанное, загадочное космическое пространство до систематических экспедиций на орбитальные станции, оснащенные сложнейшей научной аппаратурой.

За этот короткий период в Советском Союзе совершено 42 полета пилотируемых космических аппаратов, в том числе 6 полетов кораблей «Восток»; 2 полета кораблей «Восход»; 29 полетов кораблей «Союз»; 5 полетов орбитальных станций «Салют».

В настоящее время советская космонавтика вступила в новый этап своего развития — этап широкого использования результатов исследования космоса для углубления научно-технического прогресса и развития народного хозяйства путем создания длительно функционирующих орбитальных станций на околоземной орбите со сменяемыми экипажами.

Ярким свидетельством правильности выбранного пути является завершение самого длительного в истории космонавтики пилотируемого полета научно-исследовательского комплекса «Салют-6»—«Союз», в ходе которого выполнена большая программа исследований и экспериментов.

Более четырнадцати месяцев орбитальная станция «Салют-6» функционирует на орбите. За это время на станции работало шесть экспедиций — две длительные, продолжительностью 96 и 140 суток, и четыре экспедиции посещения, во время которых были выполнены десять стыковок шести пилотируемых и четырех грузовых космических кораблей и одна перестыковка, два выхода космонавтов в открытый космос.

Этими полетами убедительно продемонстрирован высокий уровень отечественной космической техники, обеспечивающей успешное решение сложнейших научно-технических задач и являющейся выдающимся инженерно-техническим достижением. Надежная работа бортовых систем, агрегатов и аппаратуры орбитального комплекса позволила полностью выполнить запланированную программу.

В соответствии с программой «Интеркосмос» на борту комплекса «Салют-6»—«Союз» работали международные экипажи с участием космонавтов ЧССР, ПНР и ГДР. Они также полностью выполнили программы научных исследований и экспериментов,

разработанные совместно учеными Советского Союза, Чехословакии, Польши и Германской Демократической Республики.

Полеты международных экипажей — новый яркий пример плодотворного сотрудничества социалистических стран в области науки и техники, исследования космического пространства, проводимого в мирных целях.

Успехи Советской страны в освоении космоса — результат постоянной заботы Коммунистической партии об ускорении темпов научно-технического прогресса.

Это итог большого труда многочисленного коллектива ученых и конструкторов, инженеров, техников и рабочих — всех, кто создает замечательные космические корабли и ракеты, кто обучает и готовит космонавтов к полетам, кто круглосуточно дежурит у пультов наземных пунктов управления.

С полным правом можно сказать, что победы в космосе куются на Земле самоотверженным трудом рабочего класса, колхозного крестьянства и советской интеллигенции.

Нет сомнения, что героический труд советского народа в четвертом, определяющем году X пятилетки принесет нам новые победы на Земле и в космосе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрий Гагарин «Есть пламя». М.: Молодая гвардия, 1968, с. 5.
2. Космодемьянский А. А. Константин Эдуардович Циолковский. М.: Наука, 1976, с. 179.
3. Диктять А. Жизнь прекрасное мгновение. М.: Молодая гвардия, 1975, с. 253.
4. Юрий Гагарин «Есть пламя». М.: Молодая гвардия, 1968, с. 36—37.
5. Диктять А. Жизнь прекрасное мгновение. М.: Молодая гвардия, 1968, с. 190.
6. Гагарин Ю. Дорога в космос. М.: Воениздат, 1969, с. 348.



НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ РАБОТЫ ЭКИПАЖЕЙ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ КОСМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «САЛЮТ-6» — «СОЮЗ» — «ПРОГРЕСС»

А. А. ЛЕОНОВ

Завершен длившийся более года важный этап программы работ с орбитальным научным комплексом «Салют-6» — «Союз». На борту комплекса, кроме двух основных экспедиций, побывали четыре экспедиции посещения, из них три международные. За этот период успешно осуществлено одиннадцать операций по сближению и стыковке аппаратов на орбите. В число этих операций входят операции по доставке на борт станции экипажей основных экспедиций и экспедиций посещения, операции по доставке грузов четырьмя грузовыми транспортными кораблями «Прогресс», а также операция по перестыковке космического корабля «Союз-31». Дважды за это время космонавты работали в открытом космосе.

Успешно выполнены программы самых длительных полетов — 96-суточного и 140-суточного.

Значение последних космических свершений огромно как в научном, так и в политическом отношении. Совершен самый длительный полет человека в космос из всех выполненных до настоящего времени. Проведен большой объем научно-технических, медико-биологических исследований и экспериментов, а также практических работ по изучению природных ресурсов и природной среды из космоса.

Материалы, полученные в результате выполнения этих работ, будут тщательно обработаны, проанализированы, обобщены, и новые важные результаты найдут широкое применение в различных отраслях науки и народного хозяйства. Анализ и внедрение результатов займут еще достаточно много времени.

Однако уже сейчас, сразу же после завершения большого этапа программы исследований, их результаты в общих чертах можно оценить. Такая оценка проводилась специалистами еще в ходе полета экспедиций. Соответствующие сведения широко освещались нашей печатью и другими средствами массовой информации. Поэтому я не буду делать обзора по всем результатам, а лишь остановлюсь на некоторых, наиболее важных из них.

Прежде всего хочу отметить, что программа использования станции «Салют-6» и сама эта станция разрабатывались, исходя из общепризнанного и доказанного всем предыдущим опытом освоения космического пространства положения о том, что наиболее эффективны с точки зрения практического выхода орбитальные станции длительного существования. В связи с этим станция «Салют-6» создавалась в расчете на ее длительную эксплуатацию.

Поэтому она существенно отличается от ранее использовавшихся станций и является первым представителем отечественных орбитальных станций второго поколения.

Принципиальными ее отличиями от станций первого поколения являются: наличие двух стыковочных узлов; наличие системы дозаправки топливом и газами от соответствующих емкостей специальных грузовых транспортных кораблей; более совершенный и разнообразный состав бортового исследовательского оборудования, бортовых служебных систем и средств обеспечения жизнедеятельности и бытовых условий космонавтов.

Все это открывает широкие возможности для использования станции как исследовательской базы в космосе. Теперь стало возможным: осуществлять сложные мероприятия на борту совместно двумя экипажами транспортных кораблей; производить смену экипажей без перерыва в работе экспедиций; пополнять энергетические ресурсы станции и ресурсы раходуемого оборудования; осуществлять оперативную доставку материалов исследований на Землю; обеспечивать материальными средствами проведение ремонтно-восстановительных работ на борту; пополнять запасы продовольствия для экипажей и другие средства обеспечения их жизнедеятельности; обновлять состав исследовательского оборудования станции; при необходимости оказывать медицинскую помощь экипажам экспедиций и вести спасательные работы в случае возникновения аварийных ситуаций.

Программа завершившегося ныне этапа работ со станцией «Салют-6» предусматривала апробирование различных вариантов организации исследований. Для этого и предусматривалась работа целого ряда экспедиций — двух основных, с длительным пребыванием на станции, и четырех экспедиций посещения.

Для каждой из этих экспедиций была разработана своя программа исследований. Для экспедиций посещения предусматривалось проведение как самостоятельных исследований, так и совместных работ с основными экспедициями.

В программу основных экспедиций входили следующие задачи: исследований земной поверхности и ее атмосферы в целях получения данных в интересах народного хозяйства; исследование физических процессов и явлений в космическом пространстве; проведение технологических экспериментов; медико-биологические исследования; технические эксперименты и испытания бортовых систем и аппаратуры станции.

Значительную часть программы работ основных экспедиций занимали эксперименты по изучению природных ресурсов и окружающей среды в интересах различных отраслей народного хозяйства. Экипажи проводили визуальное наблюдение земной поверхности и акватории Мирового океана, ледников и снежного покрова отдельных районов Земли, наблюдали стихийные бедствия в различных местах земного шара. Выполнен большой объем работ по фотосъемке территории страны в средних и южных широтах. Среди

этих работ наиболее значимым является эксперимент «Радуга» по фоторегистрации геологических образований с помощью многозонального космического аппарата МКФ-6М. Результаты этих исследований найдут широкое применение в народном хозяйстве. Экономическая целесообразность их проведения сегодня уже не вызывает сомнений.

В ходе исследований физических процессов и явлений в космическом пространстве получены новые данные о редких физических явлениях в верхней атмосфере Земли, таких, например, как серебристые облака, изменение яркости звезд при заходе их за ночной горизонт Земли и др.

Важная часть программы полета — технологические эксперименты, для проведения которых в специальном шлюзовом отсеке станции смонтирована электронагревательная установка «Сплав-01». Все технологические эксперименты на этой установке, в том числе и проводимые международными экипажами, имели целью получения в условиях невесомости новых материалов.

Выполнен большой объем медико-биологических исследований и экспериментов. Медицинские исследования включали комплексное изучение особенностей функционирования системы кровообращения в условиях невесомости, изучение процессов обмена веществ, динамики адаптационных процессов в организме космонавтов в длительном космическом полете.

Надо сказать, что столь длительные полеты космонавтов Ю. Романенко и Г. Гречко, В. Коваленка и А. Иванченкова привлекают повышенный интерес медицинских специалистов. Данные, полученные в ходе этих полетов и после их завершения, являются уникальными. Они помогут решить коренные вопросы проблемы влияния космической среды на организм человека.

Сейчас эти данные тщательно изучаются. Какие-либо заключения по этому вопросу делать преждевременно. Одно можно сказать: работоспособность космонавтов в течение всего полета сохранялась высокой, опасных отклонений в состоянии их здоровья не наблюдалось. После посадки процесс приспособления к земным условиям протекал нормально.

По программе технических исследований и испытаний проводилась отработка бортовых систем и аппаратуры, которые найдут применение на перспективных космических аппаратах. Испытаны скафандры новой конструкции полужесткого типа для выхода в космос.

Эксперименты по дозаправке станции и разгрузке транспортных кораблей — ценнейший опыт для последующего развития средств снабжения и обеспечения функционирования долговременных орбитальных станций. В результате этих экспериментов и работ получило путевку в жизнь совершенно новое семейство аппаратов — автоматические грузовые транспортные корабли типа «Прогресс».

Во время полетов было проведено несколько серий испытаний

по программе эксперимента «Резонанс» при различном построении ориентации орбитального комплекса, включающего станцию «Салют-6», корабли «Союз», а также грузовой транспортный корабль «Прогресс». Получен очень ценный экспериментальный материал, необходимый для проектировщиков протяженных модульных конструкций, монтируемых на орбите.

Своеобразными комплексными экспериментами в ходе выполнения длительных экспедиций были работы экспедиций посещения.

В ходе работы первой экспедиции посещения (В. Джанибеков, О. Макаров) объединенным экипажем из четырех человек были проведены важные технические исследования, в частности по программе упоминавшегося уже эксперимента «Резонанс». Операция по взаимной замене кресел кораблей «Союз-26» и «Союз-27» явилась хорошей практической проверкой методов выполнения монтажно-демонтажных работ в условиях невесомости. Смена кораблей позволила освободить стыковочный узел станции со стороны агрегатного отсека для последующего причаливания к нему грузового транспортного корабля «Прогресс-1».

Знаменательным событием было прибытие на борт станции «Салют-6» первого международного экипажа в составе А. Губарева и В. Ремека. Он знаменовал собой успешное начало сотрудничества социалистических стран в области освоения космического пространства пилотируемыми космическими аппаратами.

Во время пребывания этой экспедиции на станции был выполнен ряд интересных совместных советско-чехословацких экспериментов, таких, как «Морава» (по получению специальных сплавов из смеси веществ), «Хлорелла» (по изучению влияния невесомости на рост и размножение водорослей), «Экстинкция» (по наблюдению за изменением яркости звезд при заходе их за ночной горизонт Земли в целях получения данных о пылевом слое), «Кислород» (по изучению кислородных режимов в коже человека в условиях невесомости) и др.

Второй международный экипаж в составе П. Климука и М. Гермашевского в течение семи дней работы на борту выполнил обширную программу исследований. Были проведены такие эксперименты, как «Сирена», «Земля», «Кардиолидер», «Досуг», «Опрос», «Вкус», отражающие научные интересы польских ученых.

Третья международная экспедиция в составе В. Быковского и З. Йена выполнила программу экспериментов, созданную совместными усилиями ученых Советского Союза и ГДР. Это технологический эксперимент «Беролина», эксперименты «Биосфера», «Репортер», «Поляризация», медико-биологические исследования и эксперименты «Культура ткани». Большое внимание было уделено фотографированию поверхности Земли и Мирового океана с помощью многозональной аппаратуры МКФ-6.

Успешное выполнение этих экспериментов международными экипажами открывает возможности для дальнейшего, более широ-

кого участия ученых и специалистов народного хозяйства социалистических стран в космических исследованиях на принципах специализации, давно уже используемых в других сферах нашего сотрудничества.

Таким образом, сделан новый важный шаг на пути планомерного систематического освоения космического пространства пилотируемыми аппаратами. Открыты новые возможности для использования космоса в мирных целях — в интересах развития науки, техники, для использования результатов космических исследований в народном хозяйстве.

Говоря о результатах очередной серии космических полетов, нельзя не упомянуть и о вопросах подготовки космонавтов к их выполнению. Следует подчеркнуть, что успех любого космического мероприятия, связанного с полетом человека, определяется уровнем предварительной подготовки к нему.

При подготовке экипажей к экспедиции на станцию «Салют-6» мы столкнулись со многими трудными вопросами подготовки: во-первых, необходимость подготовки одновременно большого количества экипажей (с учетом дублирующих); во-вторых, различия в программах подготовки каждой экспедиции как по объему, так и по задачам; в-третьих, необходимость увязки по времени тех задач подготовки, которые связаны с отработкой взаимодействия экипажей основной экспедиции и экспедиций посещения.

Эти и другие особенности предъявляли очень жесткие требования ко всем звеньям системы подготовки космонавтов. Ведь надо учитывать и ограниченность состава технических средств подготовки, и реальное наличие специалистов по отдельным видам подготовки, и необходимость соблюдения определенной последовательности прохождения отдельных видов подготовки каждым экипажем. И естественно, самое главное требование — высококачественная отработка всех задач, всех разделов программы подготовки.

Специфическая особенность подготовки к этим полетам состояла в том, что мы приобретали первый опыт подготовки смешанных экипажей, состоящих из представителей советских космонавтов и граждан социалистических стран.

Несмотря на то что был произведен отбор наиболее подготовленных летчиков из ВВС братских армий, все же приходилось учитывать, что до прибытия к нам они в своей работе мало соприкасались с вопросами космонавтики. Да и сроки их подготовки были весьма ограниченными.

В этой обстановке их подготовка строилась следующим образом. Вначале они прослушали теоретический курс, где получили концентрированные сведения по основам космонавтики, по базовым системам космического корабля и станции. Затем они были включены в экипажи для непосредственной подготовки по конкретной программе предстоящего полета. Командирами этих экипажей были назначены опытные летчики-космонавты СССР.

Подготовка проходила не только на занятиях, тренировках,

но и в часы, свободные от занятий, в дни отдыха. Такая целенаправленная, напряженная работа позволила за короткое время подготовить из граждан социалистических стран космонавтов-исследователей, способных оказывать помощь командиру корабля на участках выведения, причаливания и стыковки, а также выполнять эксперименты на борту орбитальной станции.

Итак, завершен важный этап в освоении космического пространства. Его результаты послужат решению многих научно-технических проблем, развитию хозяйственной деятельности человека, росту экономического потенциала нашей страны. Они являются новой ступенькой для дальнейшего расширения космических мероприятий.



СОВЕТСКАЯ АВИАЦИЯ НА СТРАЖЕ ЗАВОЕВАНИЙ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

Н. М. СКОМОРОХОВ

Открытая советским гражданином летчиком коммунистом Юрием Алексеевичем Гагариным космическая навигация успешно продолжается.

Становление и развитие космонавтики тесно связаны с развитием авиации. Не случайно Владимир Ильич Ленин назвал XX век «веком аэропланов, электричества, автомобилей» [1]. Он предвидел то огромное влияние, которое окажет развитие летательных аппаратов на все области науки, культуры и народного хозяйства.

В. И. Ленин стоял у колыбели советской авиации и сделал очень многое для того, чтобы заложить основы воздушной мощи нашей страны. Ему принадлежат основополагающие решения по организации и укреплению Советского Воздушного Флота. Только за 1918—1919 гг. им было подписано более 200 документов по различным вопросам строительства и боевой деятельности Воздушного Флота Советской Республики. Многие принятые по его инициативе постановления непосредственно касались развития авиационной промышленности, налаживания работы ее отдельных предприятий, укрепления материальной базы нашего Воздушного Флота. Это позволило в тяжелые годы гражданской войны создать ремонтную базу для старых и начать выпуск новых самолетов и моторов.

Одновременно В. И. Ленин и наша партия уделяли большое внимание авиационной науке. К творческой работе по развитию авиационно-технической мысли были привлечены замечательные деятели науки и техники — Н. Е. Жуковский, К. Э. Циолковский, С. А. Чаплыгин, В. С. Кулебакин, В. П. Ветчинкин и многие другие.

Важным шагом в развитии отечественной науки и техники явилась организация в 1918 г. по инициативе В. И. Ленина Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ), главной задачей которого было развитие советской научной и конструкторской мысли.

В 1920 г. по указанию В. И. Ленина был создан опытный аэродром, на базе которого вскоре был развернут крупный научно-исследовательский институт по испытанию авиационной техники и выработке тактико-технических требований к новым самолетам.

С именем В. И. Ленина связано также создание в 1920 г. первого в авиации высшего учебного заведения, впоследствии преобразованного в Академию Воздушного Флота им. профессора Н. Е. Жуковского. Академия сыграла важную роль в строитель-

стве ВВС и в подготовке не только всесторонне развитых командно-инженерных, но также научных и конструкторских кадров. Она дала советской авиации и космонавтике немало выдающихся ученых, авиаконструкторов, создателей будущих ракетно-космических систем.

Принятые Коммунистической партией меры по развитию авиационной промышленности, создание опытных и научных учреждений способствовали развитию авиационной науки и обеспечению нашей армии авиационной техникой в годы гражданской войны. Несмотря на огромные трудности, молодая советская авиация в течение всей войны постоянно имела в строю около 300—350 самолетов [2].

Под руководством партии была успешно решена и такая сложная проблема, как подготовка кадров для авиации. Эти вопросы в те годы неоднократно обсуждались на заседаниях Совета Народных Комиссаров и Совета Труда и Оборона под председательством В. И. Ленина. Наряду с использованием по указанию Ленина авиационных специалистов старой армии была налажена подготовка советских летно-технических кадров и политработников из числа рабочих и крестьян.

В ходе гражданской войны была выработана стройная организационная структура Красного Воздушного Флота, отвечавшая ленинским принципам военного строительства, условиям и характеру войны.

Важным направлением в деятельности В. И. Ленина и партии по укреплению авиации было создание партийно-политического аппарата и постоянное увеличение партийной прослойки в рядах Красного Воздушного Флота. К концу гражданской войны в авиации насчитывалось 197 партийных ячеек и 2537 коммунистов, что составляло 12% всего личного состава Воздушного Флота [3].

Таким образом, в результате напряженной деятельности Коммунистической партии и ее вождя В. И. Ленина советская авиация за короткий срок превратилась в значительную боевую силу и прочно заняла свое место в общей системе вооруженной защиты пролетарского государства.

Непрерывное целеустремленное руководство авиацией со стороны партии и В. И. Ленина явилось важнейшим фактором, обеспечившим успех боевых действий красных военных летчиков на фронтах гражданской войны.

Проявляя массовый героизм, советские авиаторы успешно громили иностранных интервентов и внутреннюю контрреволюцию. В боевую летопись советской авиации навечно вошли имена героев-летчиков И. У. Павлова, П. Х. Межерауца, С. А. Монастырева, Н. Н. Васильченко, В. Л. Мельникова, С. Н. Никитина, И. И. Петрожицкого, И. В. Сатунина, Ю. А. Братолюбова, А. Д. Ширинкина и многих других.

Боевые заслуги авиаторов были высоко оценены Коммунистической партией и Советским правительством. 219 летчиков и лет-

чиков-наблюдателей были удостоены высшей награды того времени — ордена Красного Знамени, 6 получили эту награду дважды, а 3 — трижды.

Многие авиационные части были награждены почетными революционными Красными знаменами. Реввоенсовет Республики специальным приказом от 31 января 1921 г. за самоотверженные действия авиаторов объявил им благодарность и отметил особые заслуги перед Революцией [4].

После победоносного завершения гражданской войны советский народ приступил к восстановлению разрушенного хозяйства и развертыванию социалистического строительства. Следуя ленинскому указанию быть начеку, постоянно «...помнить, что от всякого нашествия мы всегда на волоске» [5], партия и Советское правительство уделяли неослабное внимание развитию авиации.

26 января 1921 г. Совет Труда и Оборона по указанию В. И. Ленина постановил образовать комиссию для разработки максимального плана развития авиации, рассчитанного примерно на десять лет. Разработка плана способствовала определению правильного направления всей деятельности партии по дальнейшему строительству Воздушного Флота [6].

Необходимость развития авиации была особо подчеркнута на X съезде РКП(б), на котором были приняты важные решения по восстановлению народного хозяйства страны.

На основе указаний очередного, XI съезда партии была разработана трехлетняя программа развития авиапромышленности нашей страны (1924—1926 гг.).

Строительство Воздушного Флота в те годы было объявлено всенародным делом. На призыв партии: «Трудовой народ, строй Воздушный Флот» — откликнулась вся страна. На средства, собранные трудящимися, были построены сотни самолетов, десятки аэродромов. И сегодня нельзя без волнения читать хранящуюся в Центральном партийном архиве расписку, свидетельствующую, что в числе этих средств были и шесть червонцев, внесенных лично В. И. Лениным и Н. К. Крупской на строительство самолета «Правда» [7].

Решающее значение в укреплении советской авиации имело успешное выполнение предвоенных пятилетних планов. Индустриализация страны, коллективизация сельского хозяйства и культурная революция создали прочную базу для дальнейшего развития авиации в СССР. Именно первая пятилетка послужила той стартовой площадкой, с которой начала свой бурный взлет отечественная авиация.

За годы первой и второй пятилеток в СССР практически заново была создана авиационная промышленность. Конструкторские бюро, возглавляемые А. Н. Туполевым, С. А. Лавочкиным, С. В. Ильиным, В. М. Петляковым, А. И. Микояном, А. С. Яковлевым, Н. Н. Поликарповым, В. Я. Климовым, А. Д. Швецовым и другими, создали первоклассные по тому времени самолеты.

С количественным увеличением и качественным улучшением авиационной техники и вооружения росла огневая и ударная мощь советской авиации. Только за 6 лет (с 1934 по 1939 г.) мощь ее одновременного пулеметного залпа возросла в 4, а бомбового залпа — в 3 раза [8]. В ее составе появились авиационные корпуса, а с 1936 г. — первые оперативные объединения — авиационные армии, предназначенные для выполнения самостоятельных оперативных и стратегических задач Главного Командования.

ВВС из рода войск быстро превращались в вид Вооруженных Сил. Их возросшим боевым возможностям отвечала и разработанная к середине 30-х годов теория оперативного искусства ВВС.

Боевую мощь советской авиации не раз испытали на себе враги нашей Родины, пытавшиеся посягнуть на неприкосновенность ее священных рубежей. В боях на КВЖД и у оз. Хасан, на Халхин-Голе и Карельском перешейке советские авиаторы вписали немало новых ярких страниц в боевую биографию нашего Воздушного Флота.

В 30-х годах советские летчики на отечественных самолетах установили ряд выдающихся рекордов и прославили нашу Родину как великую авиационную державу. Они с честью выполнили поставленную Коммунистической партией и Советским правительством задачу — «Летать дальше всех, быстрее всех и выше всех!».

Первыми в нашей стране удостоены звания Героя Советского Союза летчики А. В. Ляпидевский, С. А. Леваневский, В. С. Молоков, Н. П. Каманин, М. Т. Слепнев, М. В. Водопьянов, И. В. Доронин за героизм, проявленный при спасении челюскинцев в 1934 г.

Исторические перелеты экипажа В. П. Чкалова, Г. Ф. Байдукова и А. В. Белякова из Москвы на Дальний Восток в 1936 г. и через Северный полюс в Америку в 1937 г., а также ряд других дальних перелетов наглядно продемонстрировали всему миру мощь нашего Воздушного Флота, величие нашей Родины как передовой авиационной державы. Это был важный и необходимый этап на пути осуществления дерзновенной мечты, о которой К. Э. Циолковский еще в 1911 г. писал: «Первый великий шаг человечества состоит в том, чтобы вылететь за атмосферу и сделать спутником Земли» [9].

В условиях начавшейся второй мировой войны и возрастающей опасности фашистской агрессии Коммунистическая партия приняла меры по дальнейшему укреплению оборонного могущества СССР и боеспособности армии.

Возросшая роль авиации в войне обусловила необходимость увеличения мощности советского авиастроения. В 1939 г. Политбюро ЦК ВКП(б) приняло решение «О реконструкции существующих и строительстве новых самолетных заводов» и постановление «О развитии авиамоторных заводов» [10]. Они явились конкретной программой развития авиапромышленности СССР.

В результате усилий партии и правительства советская авиационная промышленность была подготовлена к серийному производству новых боевых самолетов. Советские авиаконструкторы в короткие сроки проделали огромную творческую работу по созданию новых первоклассных самолетов и двигателей.

В феврале 1941 г. ЦК ВКП(б) и СНК СССР постановлением «О реорганизации авиационных сил Красной Армии» утвердили план дальнейшего развития ВВС, предусматривавший формирование новых частей. К началу войны было сформировано 79 авиационных дивизий и 5 авиационных бригад. По численности личного состава ВВС вышли на второе место в Вооруженных Силах — 11,5% [11].

В связи с высокими темпами роста авиации было увеличено количество учебных заведений и изменен порядок их комплектования. Для подготовки командных и инженерных кадров с высшим военным образованием 29 марта 1940 г. была создана Военная академия командного и штурманского состава ВВС (ныне ВВА им. Ю. А. Гагарина), а 25 февраля 1941 г. в Ленинграде — Военно-Воздушная инженерная академия (впоследствии ВВИА им. А. Ф. Можайского). В Военно-политической академии был организован военно-воздушный факультет. Наряду с изменениями в организационной структуре авиационных частей и соединений существенной перестройке подвергся авиационный тыл.

Вероломное нападение фашистской Германии на нашу страну не позволило полностью осуществить все намеченные организационные меры. Великая Отечественная война явилась суровым испытанием для всего советского народа и его Вооруженных Сил. «В длительной, самой тяжелой из войн в истории нашей Родины, — говорится в постановлении ЦК КПСС «О 60-й годовщине Великой Октябрьской социалистической революции», — советский народ совершил подвиг, равного которому еще не знало человечество. Он сумел не только отстоять свою свободу и независимость, но и внес решающий вклад в дело спасения европейской и мировой цивилизации от уничтожения фашистскими варварами» [12].

Главным источником нашей победы явилось мудрое руководство Коммунистической партии. Она была истинным вдохновителем и организатором разгрома самых реакционных сил империализма. «Именно партия, — подчеркивал Л. И. Брежнев, — организовывала и сплачивала десятки миллионов людей, направляла их энергию, их волю и действия к одной цели — к победе» [13].

Большую роль в победе над врагом сыграли и наши славные Военно-Воздушные Силы. В руках Ставки Верховного Главнокомандования они являлись мощным и наиболее мобильным видом Вооруженных Сил, оказавшим существенное влияние на ход и исход не только операций, но и войны в целом. За время Великой Отечественной войны советская авиация произвела около 4 млн. самолетов-вылетов, сбросила на врага более 30 млн. бомб и причинила ему огромный урон в живой силе и боевой технике. Ей при-

надлежит решающая роль в разгроме фашистских ВВС. Из общего количества 77 тыс. потерянных фашистами на советско-германском фронте самолетов 57 тыс. было уничтожено советскими летчиками на земле и в воздухе [14].

Используя преимущества социалистической системы хозяйства, неисчерпаемые возможности советской социально-экономической системы и опираясь на весь свой прошлый опыт укрепления военного могущества Советского государства, Коммунистическая партия разработала такую военно-экономическую политику, проведение которой в жизнь позволило уже в 1943 г. достигнуть как качественного, так и количественного превосходства над противником в средствах ведения вооруженной борьбы. На основе роста военной экономики партия обеспечила военно-техническое превосходство Советских Вооруженных Сил, в том числе и ВВС, над вооруженными силами и авиацией фашистских агрессоров.

За годы войны нашей промышленностью было произведено 134 тыс. самолетов, тогда как Германия смогла произвести только около 79 тыс. самолетов. Среднегодовое производство самолетов в СССР было в 1,7 раза больше, чем в Германии. В серийное производство было запущено 25 новых типов самолетов, включая модификации, и 23 типа авиационных моторов. К январю 1945 г. Советские ВВС превосходили вражескую авиацию в 7,4 раза [15].

Победа Советских ВВС была вместе с тем победой их передового оперативного искусства и тактики. За годы войны под руководством партии выросли выдающиеся военачальники и авиационные полководцы, которые на практике показали, как надо использовать авиацию в боях и операциях. Среди них — командующие ВВС Красной Армии генерал-полковник авиации (впоследствии Главный маршал авиации) П. Ф. Жигарев и Главный маршал авиации А. А. Новиков; командующий авиацией дальнего действия Главный маршал авиации А. Е. Голованов; заместители командующих ВВС Красной Армии и авиации дальнего действия маршалы авиации Г. А. Ворожейкин, Ф. Я. Фалалеев, С. А. Худяков, Н. С. Скрипко, генерал-полковник авиации А. В. Никигин; командующие воздушными армиями Главный маршал авиации К. А. Вершинин, маршалы авиации С. А. Красовский, С. И. Руденко, В. А. Судец, генералы С. К. Горюнов, М. М. Громов, В. Н. Жданов, И. П. Журавлев, Н. Ф. Науменко, Ф. П. Польшин, Н. Ф. Папивин, С. Д. Рыбальченко, И. М. Соколов, Т. Т. Хрюкин.

Одним из важнейших проявлений руководящей и мобилизующей роли партии явился рост числа коммунистов-авиаторов. Несмотря на боевые потери, их состав почти утроился и к концу войны достиг приблизительно 200 тыс. человек. Коммунисты были всегда впереди, показывая образцы мужества и самоотверженности.

Руководствуясь указаниями В. И. Ленина о том, что «во всякой войне победа в конечном счете обуславливается состоянием духа тех масс, которые на поле брани проливают свою кровь» [16], партия проделала огромную работу по подготовке воздушных бойцов к решительной, победоносной схватке с врагом, по воспитанию у них высокого патриотизма и наступательного порыва, готовности к ратным подвигам. И советские летчики проявили непревзойденные образцы мужества, высокой воинской доблести, вписали яркие страницы в героическую летопись Великой Отечественной войны.

Родина, партия по достоинству оценили подвиги отважных соколов. Более 200 тыс. из них награждены орденами и медалями, 2420 авиаторам присвоено звание Героя Советского Союза, 65 из них удостоены этой награды дважды, а прославленные асы, ныне маршал авиации А. И. Покрышкин и генерал-полковник авиации И. Н. Кожедуб стали трижды Героями Советского Союза.

Победоносно завершив Великую Отечественную войну, советский народ, руководимый Коммунистической партией, возобновил мирное социалистическое строительство. Однако партия и Советское правительство не могли не считаться с агрессивными замыслами империалистических кругов и постоянно проявляли заботу об укреплении обороноспособности государства, совершенствовании Советской Армии и ее славных ВВС.

Война показала, что необходимо изыскать принципиально новые направления в развитии авиации. Таким направлением явился переход к созданию самолетов с реактивными двигателями.

Как известно, первый полет на первом советском реактивном самолете «БИ» конструкции А. Я. Березняка и А. М. Исаева с жидкостным ракетным двигателем был совершен еще 15 мая 1942 г. летчиком-испытателем капитаном Г. Я. Бахчиванджи. Но только после войны советские ученые и конструкторы получили широкие возможности для продолжения начатых еще в довоенные годы работ в области создания реактивных самолетов и двигателей.

Эти вопросы постоянно находились во внимании ЦК нашей партии и правительства. Выполняя поставленную перед ними задачу, конструкторские бюро А. Н. Туполева, А. И. Микояна, С. А. Лавочкина, С. В. Ильюшина, А. С. Яковлева, П. О. Сухого, О. К. Антонова, Г. М. Бериева, В. Я. Климова и других в короткие сроки обеспечили разработку и внедрение в серийное производство самолетов нового поколения.

В апреле 1946 г. состоялись первые полеты на реактивных истребителях, а через четыре месяца, 18 августа на воздушном параде в Тушино советский народ с гордостью взирал на первые отечественные реактивные самолеты. Первого мая 1947 г. над Красной площадью столицы пронеслись уже большие группы реактивных машин.

В течение 1947—1950 гг. приняты важные постановления о развитии советской реактивной авиации. Было освоено и налажено серийное производство нескольких образцов реактивных самолетов. Появились машины, скорость которых достигла скорости звука, а затем и превысила ее. По сравнению с поршневыми новые самолеты обладали значительно большей дальностью полета, потолком и скороподъемностью. Советская авиация вступила в качественно новый этап своего развития.

Поскольку до 1956 г. авиация сохраняла монопольное положение единственного носителя ядерного оружия, Центральный Комитет партии и правительство уделяли особое внимание развитию Военно-Воздушных Сил как важнейшего средства обеспечения безопасности нашей Родины.

В эти годы истребительная авиация получила от промышленности образцы реактивных самолетов со сверхзвуковой скоростью. В штурмовой авиации на смену самолетам-штурмовикам Ил-10 пришли МиГ-15бис, а сама штурмовая авиация была преобразована в истребительно-бомбардировочную. Фронтовая бомбардировочная авиация была вооружена реактивными бомбардировщиками, которые превосходили своих поршневых предшественников по скорости и дальности полета в 2 раза, по бомбовой нагрузке — в 3 раза, причем могли использоваться как носители ядерных бомб.

В дальней авиации был принят на вооружение дальний реактивный бомбардировщик Ту-16 — ракетоносец, носитель ядерного оружия. Качественно изменилась военно-транспортная авиация. Новые реактивные самолеты и вертолеты позволяли ей решать более широкий круг задач. Была успешно решена также поставленная партией и правительством задача создания новых систем вооружения класса «воздух — воздух» и «воздух — земля». Коренным образом изменилось оборудование самолетов, что существенно понизило зависимость авиации от метеорологических условий и значительно повысило боевые возможности авиационных частей и соединений.

Техническое перевооружение авиации выдвинуло новые требования к подготовке авиационных кадров. По решению ЦК КПСС и Совета Министров СССР в конце 50-х годов авиационные училища летчиков и штурманов были преобразованы в высшие военные авиационные училища. Успешному освоению новой авиационной техники, повышению мастерства летного состава способствовало введение классификации летного состава, установление льгот и наград за полеты в сложных метеорологических условиях днем и ночью, учреждение почетных званий «Заслуженный военный летчик (штурман) СССР», «Заслуженный летчик-испытатель (штурман-испытатель) СССР».

Вступление советского общества в этап развитого социализма вызвало качественные изменения во всех сферах общественной жизни нашей страны, в том числе и в военном строительстве, яв-

ляющемся неотъемлемой частью общегосударственного строительства.

Направляя военное строительство, Коммунистическая партия делает все для того, чтобы Вооруженные Силы располагали необходимыми средствами для выполнения своей ответственной задачи — быть стражем мирного труда советского народа, оплотом мира.

«Держать и впредь на высоком уровне Вооруженные Силы страны, чтобы у советских воинов всегда было самое современное оружие, с которым не могли бы не считаться империалисты, — таков наш долг перед народом, и мы его будем выполнять свято!» — говорил на октябрьском (1976 г.) Пленуме ЦК КПСС товарищ Л. И. Брежнев [17].

Важнейшей чертой современного этапа развития Военно-Воздушных Сил является постоянное совершенствование их технической оснащенности на основе широкого использования достижений научно-технической революции, непрерывного качественного изменения и улучшения конструкции авиационной техники, внедрения прогрессивных методов ее эксплуатации и эффективных способов боевого применения.

Основу Военно-Воздушных Сил составляют сейчас самолеты-ракетоносцы. Они оснащены самым современным вооружением, средствами обнаружения противника и управления огнем, новейшей навигационной аппаратурой. На вооружении ВВС находятся воздушные корабли, способные в любую погоду, днем и ночью совершать полеты и наносить мощные удары ракетами с ядерными боевыми зарядами.

Обладая большой ударной мощью, ВВС ныне способны влиять на исход крупных операций как на сухопутных, так и на морских театрах военных действий.

Основу боевой мощи советской авиации составляет не только первоклассная техника, но прежде всего люди, в совершенстве владеющие ею, беспредельно преданные Коммунистической партии, Советской Родине. В настоящее время выращены замечательные кадры летчиков, штурманов, инженеров, техников и других авиационных специалистов. Они настойчиво совершенствуют свое воинское мастерство, умело превращают в сокрушительную силу то, что заложено в боевых самолетах советской научно-конструкторской мыслью, трудом авиастроителей.

Новый качественный скачок в развитии советской авиации — результат постоянной заботы Коммунистической партии, ее ленинского Центрального Комитета, Политбюро ЦК, Генерального секретаря ЦК КПСС, Председателя Президиума Верховного Совета СССР, Председателя Совета Обороны Маршала Советского Союза Л. И. Брежнева об укреплении боевой мощи Военно-Воздушных Сил. Это результат успехов нашего народа в развитии экономики, науки и техники, упорного и самоотверженного труда ученых, конструкторов, инженеров, техников и рабочих. Вместе

с тем это и результат ратного труда воинов-авиаторов, их настойчивой борьбы за высокую боеготовность, дальнейшее совершенствование воздушной выучки, мастерское владение новой авиационной техникой и оружием, качественное выполнение задач боевой и политической подготовки, образцовый воинский порядок.

Воины-авиаторы, воодушевленные высокой оценкой XXV съездом КПСС наших Вооруженных Сил, полны решимости к выполнению своего священного долга перед народом по надежной защите своего Отечества, завоеваний Октября.

На основе авиации зародилась и успешно развивается новое направление технического прогресса — космонавтика. Ведь прежде, чем начать штурм космоса, человек должен был обрести крылья, оторваться от земли, взлететь и выполнить полет. Ему нужно было покорить воздушный океан, научиться создавать летательные аппараты тяжелее воздуха и только потом искать пути преодоления сил земного притяжения.

Конструкции космических кораблей и мощных многоступенчатых ракет-носителей создавались с учетом и широко использовались с опытом и достижениями авиационной науки и техники. Многие открытия аэродинамики, теории прочности конструкций, устойчивости и управляемости были использованы при выборе рациональных компоновок летательных аппаратов, предназначенных для освоения космоса. Авиационная культура конструирования легких и прочных тонкостенных металлических оболочек, легких мощных двигателей, органов и систем управления полетом, систем заправки топливом, а также систем жизнеобеспечения пилотов сыграла существенную роль в развитии космонавтики и способствовала выбору прогрессивных конструкций для новых условий полета в космическом пространстве.

Опыт строительства крупных цельнометаллических самолетов был широко использован при создании новых конструкций многоступенчатых ракет-носителей.

Ряд ведущих конструкторов ракетно-космических систем в нашей стране получили авиационное образование, проектировали и строили самолеты различных типов. В их числе был и Главный конструктор ракетно-космических систем дважды Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской премии, академик Сергей Павлович Королев, проявивший себя, как выдающийся ученый и блестящий организатор. Ему принадлежит решающая роль в достижениях нашей страны по практическому освоению космического пространства, что и утвердило его как основоположника практической космонавтики.

Методика подготовки и тренировок летчиков — космонавтов базировалась на широком опыте пилотирования самолетов и подготовке пилотов — авиаторов. Как показали исследования, профессия летчика современного самолета, особенно летчика-истребителя, в наибольшей мере способствует формированию у челове-

ка таких необходимых в космическом полете качеств, как быстрота и точность реакции, смелость и находчивость, способность переносить большие перегрузки и эмоционально-волевые напряжения, правильно ориентироваться в пространстве и совершать точные координированные движения, вести одновременное наблюдение за землей и приборами и оценивать воздушную обстановку, подавлять иллюзорные представления о пространственном положении и т. п. Летчику-истребителю знаком и такой необычный для подавляющего большинства людей фактор космического полета, как невесомость.

Летчик умеет отлично обращаться с радиосредствами, пилотажно-навигационным оборудованием, высотным снаряжением и радиоэлектронными приборами. Все это помогает ему быстро изучить космическую технику. Каждый летчик является к тому же парашютистом. Словом, профессии летчика и космонавта имеют очень много общего.

Космический полет — это прежде всего полет со взлетом и посадкой. И какой бы совершенной ни была автоматика космического корабля, человек, находящийся на его борту, остается летчиком в полном смысле этого слова.

Не случайно большинство космонавтов, в том числе и первый в мире космонавт майор Юрий Алексеевич Гагарин, являлись летчиками Военно-Воздушных Сил.

Сейчас среди космонавтов есть и представители других профессий: ученые, инженеры, врачи. Однако полету в космос каждого из них предшествовала и будет предшествовать обязательная целенаправленная специальная авиационная подготовка.

Таким образом, авиация поставила свои вехи на трудном, никем не изведенном пути первого полета человека в космос. Являясь колыбелью космонавтики, она оказывает и будет оказывать влияние на ее дальнейшее развитие.

Советская авиация вступила в седьмое десятилетие своего существования. Новым важным этапом в ее развитии является десятая пятилетка. Еще выше за эти годы поднимется уровень ее технической оснащенности, боевого и профессионального мастерства авиаторов. Их ждут новые скорости и высоты, новые победы в покорении воздушного пространства и космических далей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 25, с. 175.
2. История Военно-Воздушных Сил Советской Армии. М.: Воениздат, 1954, с. 231.
3. Коммунистическая партия — создатель и руководитель Советских Военно-Воздушных Сил. Моноия: ВВКА, 1966, с. 29.
4. Сборник приказов РВСР за 1921 г. — ЦГА СА, Приказ № 259.
5. Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 44, с. 296.

6. Вестник Воздушного Флота, 1921, № 8/9, с. 3; Авиация и космонавтика, 1963, № 4, с. 6—7.
7. Ленин и авиация. Монино: ВВА им. Ю. А. Гагарина, 1970, с. 58.
8. XVIII съезд ВКП(б): Стеногр. отчет. М.: Госполитиздат, 1939, с. 195.
9. Циолковский К. Э. Собр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1954, т. II, с. 208.
10. Партия и армия. М.: Политиздат, 1977, с. 154.
11. Партия и армия. М.: Политиздат, 1977, с. 157.
12. О 60-й годовщине Великой Октябрьской социалистической революции: Постановление ЦК КПСС от 31 января 1977 г., М.: Политиздат, 1977, с. 6.
13. Брежнев Л. И. Ленинским курсом: Речи и статьи. М.: Политиздат, 1976, с. 288.
14. Советские Военно-Воздушные Силы в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг. М.: Воениздат, 1969, с. 438.
15. Партия и Армия. М.: Политиздат, 1977, с. 207.
16. Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 41, с. 121.
17. Брежнев Л. И. Речь на пленуме Центрального Комитета КПСС 25 октября 1976 г. М.: Политиздат, 1976.

✱

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Ю. И. ТОПЧЕЕВ, В. В. СЕМЕНОВ, А. И. КИСЕЛЕВ,
В. Г. ПОТЕМКИН

Современные системы управления космическими летательными аппаратами характеризуются широким внедрением методов оптимального управления, необходимость которых обусловлена возросшими требованиями к точности и качеству в условиях ограничений на величину расходуемого топлива или энергетики.

Существующие методы оптимизации базируются на условиях принципа максимума или методах динамического программирования, что позволяет эффективно решать задачу синтеза оптимальной системы. Наиболее разработаны в настоящее время методы оптимального управления линейными системами. Существенные результаты, достигнутые в этой области теорий управления, связаны с построением и расчетом систем ориентации, управления и стабилизации космических аппаратов, оптимальных по быстродействию и расходу топлива.

Однако получаемые в этом случае законы управления имеют достаточно сложную структуру, затрудняющую их реализацию на борту космического аппарата. Поэтому большое внимание в последнее время уделяется вопросам построения квазиоптимальных систем управления и методам их расчета.

На примере задачи управления боковым каналом космического летательного аппарата (КЛА) описывается один из возможных способов построения квазиоптимальной по быстродействию системы управления угловым положением КЛА на участке спуска. Уравнения динамики корабля можно представить в виде

$$\dot{\omega}_x = M_x^{\beta} \beta + f_{xK} M_K + f_{xP} M_P,$$

$$\dot{\omega}_y = M_y^{\beta} \beta + f_{yK} M_K + f_{yP} M_P,$$

$$\beta = \omega_x \sin \alpha + \omega_y \cos \alpha,$$

$$\dot{\gamma}_c = \omega_x \cos \alpha - \omega_y \sin \alpha,$$

где ω_x , ω_y — угловые скорости по связанным осям; β — угол скольжения; γ_c — скоростной угол крена; α — угол атаки; M_K , M_P — моменты управления каналов крена и рыскания. Считая, что угол атаки поддерживается постоянным, решается задача разворота аппарата по крену с одновременной стабилизацией угла скольжения β относительно командного значения β_x в пределах $\pm \beta_{доп}$.

Достаточно высокий порядок системы, наличие двух управляющих органов, ограничение на переменные состояния — все это не позволяет в полном объеме найти решение задачи синтеза оптимального управления. Указанные особенности заставляют отказаться от строгой постановки задачи оптимального управления и рассмотреть более простую задачу — синтезирование релейной системы с минимальным числом переключений.

Данная задача решается в два этапа. На первом этапе отыскиваются управления из области допустимых управлений и траектории движения системы, относительно которых время движения минимально. На втором этапе синтезируется релейный закон управления, обеспечивающий движение системы по оптимальным траекториям.

Решение задачи синтеза на первом этапе рассмотрено в [1], где показано, что все движение целесообразно разбить на пять этапов. На I участке управление формируется таким образом, чтобы изображающая точка фазовой плоскости $\beta\dot{\beta}$ переходила из положения $(0,0)$ в точку $(\pm\beta_{\text{доп}}, 0)$. На участке II управление поддерживает $\beta = \pm\beta_{\text{доп}}$, при этом осуществляется интенсивный разворот по γ под действием максимальной по величине составляющей $M_\varepsilon = M_\kappa + M_p$. На III участке изображающая точка фазовой плоскости $\beta\dot{\beta}$ переводится в положение $(\pm\beta_{\text{доп}}, 0)$. Далее осуществляется торможение по γ , а управление формируется аналогично участкам I и II, но в обратной последовательности. Для реализации описанного выше движения минимальное число переключений равно семи.

Предлагаемый закон управления, реализующий данное значение, имеет вид

$$M_\kappa = \text{sign} \begin{cases} 0, & \text{если } S_\gamma S_\beta \leq |S_\beta| \Delta_1, \quad |\dot{\beta}| < \Delta_2, \\ -S_\gamma, & \text{если } S_\gamma S_\beta \geq |S_\beta| \Delta_1, \quad |\dot{\beta}| > \Delta_2; \end{cases}$$

$$M_p = \text{sign} \begin{cases} S_\gamma, & \text{если } |S_\beta| < \Delta_1, \quad |\dot{\beta}| < \Delta_2, \\ -S_\beta, & \text{если } |S_\beta| \geq \Delta_1, \quad |\dot{\beta}| \geq \Delta_2, \end{cases}$$

где функции переключения запишутся как $S_\beta = \beta - \beta_{\text{доп}} \text{sign } S_\gamma + K_\beta \beta$, $S_\gamma = \gamma + \left[\frac{(\dot{\gamma} + \delta_2 \text{sign } \dot{\gamma})^2}{2M_\gamma} - \delta_1 \right] \text{sign } \dot{\gamma}$; Δ_1, Δ_2 — определяют малую окрестность вблизи точки; δ_1, δ_2 — коэффициенты, зависящие от параметров объекта.

Данный закон управления может быть легко реализован на БЦВМ. В случае использования аналогового автопилота этот закон целесообразно несколько упростить, заменив логическую часть некоторой нелинейностью и, кроме того, преобразовав функцию переключения на линейную:

$$M_\kappa = \text{sign} [(\text{sign } S_\gamma) F_3 S_\beta \text{sign } S_\gamma],$$

$$M_p = \text{sign} [(\text{sign } S_\gamma) F_2 S_\beta \text{sign } S_\gamma],$$

$$S_\beta = \beta - \beta_{\text{доп}} F_1 (S_\gamma) + K_\beta \dot{\beta},$$

$$S_\gamma = \gamma + K_\gamma \dot{\gamma}.$$

При решении задач пространственной ориентации часто оказывается целесообразным использовать методы управления угловым положением космического аппарата путем его плоского разворота относительно оси Эйлера [2]. Пусть вращательное движение аппарата относительно центра масс описывается уравнениями Эйлера

$$\dot{\varphi}_1 = \omega_1, \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_2, \quad \dot{\varphi}_3 = \omega_3,$$

$$\dot{\omega}_1 = A_1 \omega_2 \omega_3 + \beta_1 M_1,$$

$$\dot{\omega}_2 = A_2 \omega_1 \omega_3 + \beta_2 M_2,$$

$$\dot{\omega}_3 = A_3 \omega_1 \omega_2 + \beta_3 M_3,$$

где $A_i = (J_{i+1} - J_{i+2})/J_i$; $\beta_i = 1/J_i$. Здесь J_i — моменты инерции по главным осям; $\varphi_i, \dot{\omega}_i$ — соответственно угол и угловая скорость разворота космического аппарата; M_i — моменты управления по осям, ограниченные максимальными значениями $M_{i \max}$. Тогда, как показано в работе [3], для оптимального по быстродействию плоского разворота соотношения для управляющих моментов по связанным осям будут иметь вид:

на участке разгона

$$M_i = M_{i \max} \text{sign} (v_i),$$

$$M_j = M_{i \max} [D1_j \exp(-q_i \varphi) + D2_j],$$

где $D1_j, D2_j, \varphi, q_i, Q_i$ — постоянные для данного участка величины; i — индекс определяющей оси; j — индексы неопределяющих осей;

на участке торможения

$$M_i = -M_{i \max} \text{sign} (v_i),$$

$$M_j = M_{i \max} [D3_j \exp(q_i \varphi) + D2_j].$$

Здесь $\varphi, D3_j$ — постоянные для участка торможения. При этом уравнения фазовых траекторий движения имеют вид:

для участка разгона

$$\dot{\varphi} = \sqrt{Q_i (1 - \exp[-q_i (\varphi + \varphi^*)])},$$

для участка торможения

$$\dot{\varphi} = \sqrt{Q_i (\exp[q_i (\varphi_p - \varphi)] - 1)}.$$

Определяющая ось находится проверкой невыхода потребных управляющих моментов M_i по неопределяющим осям за рамки допустимых значений

$$M_i \leq M_{i \max}$$

в точках $\varphi = 0$ и $\varphi = \varphi_n$, где φ_n — координата переключения с разгонного участка на тормозной, может быть получена из условия стыковки разгонной и тормозной фазовых траекторий:

$$\dot{\varphi}(\varphi_n - 0) = \dot{\varphi}(\varphi_n + 0).$$

При идеальном развороте космического аппарата угловое положение оси Эйлера относительно связанной системы координат должно оставаться неизменным. Однако в результате действия возмущающих факторов мгновенная ось вращения может отклоняться от вычисленного положения оси Эйлера, а действительная траектория движения не совпадает с расчетной. Для компенсации возмущения и стабилизации программного значения углов и угловых скоростей поворота вокруг оси Эйлера предлагается использовать закон управления вида

$$u_i = k4_j [k3_{ij} + k2_{ij} \exp(k1_{ij} \varphi_i) - \dot{\varphi}_j] + k5_j [\varphi_{j+1} v_j / v_{j+1} + \varphi_{j+2} v_j / v_{j+2} - 2\varphi_j]. \quad (1)$$

На рис. 1 в качестве примера показан одновременный разворот по осям OX, OY, OZ космического летательного аппарата, в котором стабилизация программных значений φ_3 , $\dot{\varphi}_3$ осуществлялась законом управления (1).

При использовании астроследящих систем ориентации угловое движение космического аппарата по каналам тангажа и рыскания описывается нелинейным уравнением вида

$$\ddot{x} = k \sin u. \quad (2)$$

Расчет таких систем может быть осуществлен согласно методике, изложенной в работе [4], в которой рассматривается задача синтеза приближенно-оптимальной по быстродействию системы управления объектом, когда на управляющую функцию и ее производную наложены ограничения $|u(t)| \leq u_m$, $|\dot{u}(t)| \leq \dot{u}_m$.

Как правило, подобные задачи решаются в два этапа. Сначала находят оптимальную программу $u_{\text{пр}}(t)$, $x_{\text{пр}}(t)$, а затем — закон управления в форме обратной связи $u(x, x_{\text{пр}}, u_{\text{пр}})$, который обеспечивает заданное движение системы относительно номинальной траектории [5].

Для построения такой системы управления необходимо получить аналитическую зависимость

$$\tau \dot{u}_{\text{пр}} + u_{\text{пр}} = f(x_{\text{пр}}),$$

где τ — известный постоянный коэффициент, характеризующий инерционность управляющих органов.

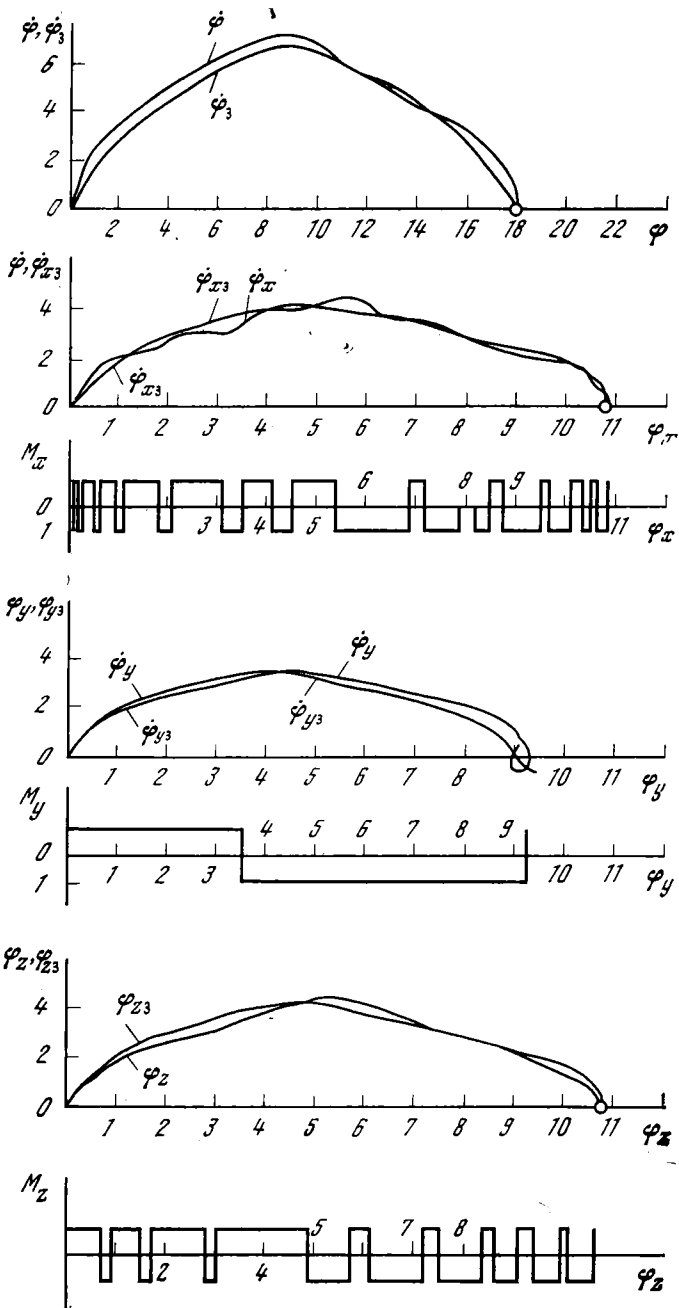


Рис. 1

Для этого, исключая время в зависимостях $\dot{u}_{\text{пр}}(t)$, $u_{\text{пр}}(t)$, $x_{\text{пр}}(t)$, строим численно функцию $f(x_{\text{пр}})$, которую затем раскладываем в ряд Фурье

$$\tau \dot{u} + u = \frac{A_0}{2} + \sum_{i=1}^n A_i \sin\left(i \frac{2\pi}{x_k - x(0)} x + \varphi_i\right), \quad (3)$$

где

$$A_0 = \frac{2}{x_k} \int_0^{x_k} f(x_{\text{пр}}) dx; \quad A_i = \sqrt{c_i^2 + b_i^2};$$

$$\varphi_i = \text{arctg} \frac{c_i}{b_i};$$

$$c_i = \frac{2}{x_k} \int_0^{x_k} f(x_{\text{пр}}) \cos\left(i \frac{2\pi}{x_k} x_{\text{пр}}\right) dx;$$

$$b_i = \frac{2}{x_k} \int_0^{x_k} f(x_{\text{пр}}) \sin\left(i \frac{2\pi}{x_k} x_{\text{пр}}\right) dx.$$

При $n \rightarrow \infty$ и отсутствии возмущающих воздействий закон управления (3) осуществляет перевод объекта (2) в конечное состояние за время T . Однако в момент времени, когда текущее значение координаты достигает x_k , следует изменить структуру системы управления, так как система (3) может не обеспечить удержание объекта в области цели.

Поэтому предлагается при приближении объекта к конечному состоянию изменить структуру системы управления на обычную линейную

$$\tau \dot{u} + u = a_1 [x(t) - x_k] + a_2 [\dot{x}(t) - \dot{x}_k], \quad (4)$$

являющуюся оптимальной по квадратичному критерию для линейных объектов [2].

Переход к структуре (4) осуществляется при выполнении условия $|x(t) - x_k| \leq \varepsilon$, где ε — малая величина.

Особое место в линейной теории систем управления занимает задача оптимизации этих систем по квадратичному критерию качества. Большое внимание, которое уделяется решению этой проблемы, определяется в первую очередь тем, что данная задача является по существу задачей синтеза. При этом методы ее решения, основанные на векторно-матричном аппарате описания, приводят к расчетным алгоритмам, наиболее эффективно реализуемым на современных ЭВМ. Поэтому разработка данных методов в виде соответствующего математического и программного обеспечения является важной практической задачей, решение которой позволит существенно сократить объем расчетно-теоретических работ

и вычислений, проводимых инженером при проектировании систем управления летательными аппаратами.

Теоретической основой данного математического обеспечения могут являться методы синтеза, изложенные в работе [6], в которой рассматривается задача синтеза стационарной, полностью управляемой и наблюдаемой динамической системы

$$\dot{x} = Ax(t) + b(g(t) - u(t)), \quad y(t) = Cx(t),$$

на основе ее приближения к эталонной модели

$$\dot{x}_m = A_m x_m(t) + b_m g(t), \quad y_m(t) = C x_m(t),$$

где $x(t)$, $x_m(t)$ — векторы состояния системы и модели; $u(t)$ — скалярная функция управления; $g(t)$ — функция входа; $y(t)$ — регулируемый выход системы.

Принимая в качестве меры приближения системы к модели интеграл от квадрата разности их выходов

$$\mu = \int_0^{\infty} (y(t) - y_m(t))^2 dt$$

и учитывая ограничения на функцию управления

$$\int_0^{\infty} u^2(t) dt \leq \xi,$$

задачу синтеза можно сформулировать как задачу определения оптимального управления $u^* = u^*(x, x_m)$, относительно которого критерий качества

$$J = \mu + r \int_0^{\infty} u^2(t) dt$$

принимает минимальное значение.

Если исходная система полностью управляема и наблюдаема, а модель экспоненциально устойчива, то, согласно [7], данная задача имеет решение, представимое в виде

$$u^* = \frac{1}{\sqrt{r}} b^T (Kx + K_m x_m), \quad (5)$$

где K — симметричная положительно-определенная матрица, являющаяся решением уравнения Риккати

$$C^T C + \sqrt{r} (KA + A^T K) = K b b^T K,$$

а K_m — прямоугольная матрица, удовлетворяющая уравнению Ляпунова

$$K_m A_m + (A - b b^T K)^T K_m = \frac{1}{\sqrt{r}} C^T C_m.$$

Так как при $r \rightarrow 0$ реакция замкнутой системы с законом управления (5) стремится к переходной функции модели в том смысле, что

$$\lim_{r \rightarrow 0} \int_0^{\infty} (y(t) - y_m(t))^2 dt = 0,$$

то соответствующим подбором значения r можно всегда добиться ситуации, когда динамические свойства системы и модели будут практически совпадать.

Если в системе управления действуют возмущения

$$\dot{x} = Ax + bu(x) + f,$$

то выбор закона управления может быть произведен следующим образом [8].

Рассмотрим двусвязную динамическую систему с несимметричными перекрестными связями

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = b_1 u + f_1, \tag{6}$$

$$\dot{x}_3 = x_4, \quad \dot{x}_4 = a_1 x_1 + b_2 u + f_2.$$

Считая внешние возмущения мультипликативными, можно принять

$$f_1 = \varphi_1(t) e^{-\xi_1 t}, \quad f_2 = \varphi_2(t) e^{-\xi_2 t},$$

где $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ — ограниченные и непрерывные на всем интервале функций; ξ_1 , ξ_2 — малые положительные числа. Используя метод аналитического конструирования регуляторов [9], найдем оптимальную функцию Ляпунова

$$W(x, t) = W_2(x) + W_1(x, t) + W_0(t),$$

где

$$W_2(x) = \sum_{i,j=1}^n N_{ij} x_i x_j, \quad W_1(x, t) = \sum_{i=1}^n l_i(t) x_i,$$

$$W_0(t) = F(f_1, f_2, t).$$

Потребовав, чтобы для $W(x, t)$ выполнялись условия

$$\frac{d}{dt} [W(x, t)] + V = 0, \quad \min_u \left\{ \frac{d}{dt} [W(x, t)] + V \right\} = 0,$$

где $V = \sum_{i=1}^n n_i x_i^2 + cu^2$ — подынтегральное выражение оптимизируемого функционала, получим закон оптимального управления в виде

$$u = \sum_{i=1}^4 \left(p_i x_i - \frac{1}{2c} m_i l_i \right),$$

$$\begin{aligned}
 p_1 &= -\frac{1}{c} (N_{12}b_2 + N_{14}b_1), & p_2 &= -\frac{1}{c} (N_{22}b_2 + N_{24}b_1), \\
 p_3 &= -\frac{1}{c} (N_{23}b_2 + N_{34}b_1), & p_4 &= -\frac{1}{c} (N_{24}b_2 + N_{44}b_1),
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

в котором значения N_{ij} определяются из системы уравнений Риккати, а l_i — из системы дифференциальных уравнений, правые части которых зависят от $F(f_1, f_2, t)$.

Практическая реализация полученного комбинированного закона обычно строится на основе компенсации внешних возмущений в классе инвариантных систем.

Представляя (6), (7) в виде структурных звеньев, получим

$$\begin{aligned}
 X_1(s) &= W_{x_1}U(s) + W_{f_1}F_1(s), \\
 X_3(s) &= W_{x_3}U(s) + W_cX_1(s) + W_{f_2}F_2(s), \\
 U_{x_1}(s) &= W_{x_1}^yX_1(s), \\
 U_{x_3}(s) &= W_{x_3}^yX_3(s), \\
 U(s) &= W_{\Pi}[(U_{x_3} - Z_{f_1}f_1) + (U_{x_1} - Z_{f_2}f_2)],
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где $W_{x_1} = a_1(\rho^2)^{-1}$; $W_{x_3} = b_1(\rho^2)^{-1}$; $W_{f_1} = W_{f_2} = (\rho^2)^{-1}$; $W_c = b_2(\rho^2)^{-1}$; $W_{x_1}^y = K_1 + K_2P$. Здесь $U(s)$ — управляющее воздействие; Z_{f_1} , Z_{f_2} — передаточные функции компенсационных звеньев.

Разрешая уравнения (8) относительно $X_1(s)$ или $X_3(s)$, легко найти передаточные функции компенсационных звеньев, обеспечивающие инвариантность указанных координат от возмущений $f_1(s)$ и $f_2(s)$.

Трудности получения информации о внешних возмущениях могут привести к необходимости обеспечения инвариантности системой управления по отклонению. В этом случае предлагается рассмотрение закона управления в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 U &= W_{\Pi}(U_{x_3} - U_{x_1} - W_9W_{10}X_3 - W_4W_5X_1), \\
 U_{x_1} &= -\frac{W_1W_2W_5}{1 + W_2W_3}X_1, & U_{x_3} &= -\frac{W_7W_8W_{10}}{1 + W_7W_8}X_3.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Здесь W_1, \dots, W_{10} — передаточные функции компенсационных звеньев. Тогда для выполнения условий абсолютной инвариантности [10] координаты X_3 от возмущения f_1 необходимо $M_{22} = 0$. Составляя алгебраическое дополнение из первых двух уравнений (8) и (9), получим

$$\frac{W_1W_2W_5}{1 + W_2W_3} + W_4W_5 = \frac{b_2}{b_1}(r_1s^2 + r_2s + 1).
 \tag{10}$$

С учетом последнего выражения характеристическое уравнение системы примет вид

$$\Delta(s) = -(r_1 s^2 + r_2 s + 1) s^4 + \left[b_1 (K_3 + K_4) - a_1 \left(\frac{W_1 W_2 W_5}{1 + W_2 W_3} + W_4 W_5 \right) \right] s^2 + a_1 b_2 (K_4 s + K_3) = 0. \quad (11)$$

Из выражения (5) достаточно просто получить физически реализуемые передаточные функции компенсационных звеньев. Так, при $W_1 = 1$, $W_2 = K_1 + K_2 s$, $W_4 = 0$, $W_5 = 1$ получаем $W_3 = = b_1 b_2^{-1} (r_1 s^2 + r_2 s + 1)^{-1} - (K_1 + K_2 s)^{-1}$. Аналогично могут быть рассмотрены различные комбинации W_1, \dots, W_5 . При этом необходимым условием является проверка устойчивости замкнутой системы на основании (11). В зависимости от требований к инвариантности системы формулы (10) и (11) будут иметь различные комбинации: W_1, \dots, W_{10} .

В ряде случаев достаточно построение замкнутой системы без учета инерционности привода, т. е. $r_1 = r_2 = 0$. Исследования показали, что при таком предположении практически все передаточные функции компенсационных звеньев физически реализуемы.

Дальнейшее развитие методов расчета систем управления летательных аппаратов связано с разработкой методов анализа и синтеза нелинейных динамических систем. Здесь, так же как в теории управления линейными системами, важную роль играют методы анализа, построенные на математическом аппарате описания систем в пространстве состояний.

В работе [11] рассматриваются динамические системы, описываемые уравнениями

$$\dot{x} = Ax + B [x \times x] + Cu(t), \quad (12)$$

где $[x \times x]$ — произведение векторов. Анализ этих систем основан на представлении решения нелинейного дифференциального уравнения функциональным рядом Вольтерра

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} x_n(t_1, \dots, t_n) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_{t_1=t}^{t_1} \dots \int_{t_n=i}^{t_n} h_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \times \\ \times u(t_1 - \tau_1) \dots u(t_n - \tau_n) d\tau_1, \dots, d\tau_n, \quad (13)$$

где $h_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$ — ядро Вольтерра n -го порядка. Данное разложение позволяет описать нелинейные дифференциальные уравнения (12) через систему линейных неоднородных дифференциальных уравнений вида

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= Ax_1 + Cu; \\ \dot{x}_2 &= Ax_2 + B [x_1 \times x_1]; \\ \dot{x}_3 &= Ax_3 + B [x_1 \times x_2] + B [x_2 \times x_1]. \\ &\dots \end{aligned}$$

Это дает возможность получить аналитическое решение нелинейного уравнения (12) при произвольном входном воздействии. Для оценки устойчивости и качества работы нелинейных систем полезно получить многомерные передаточные функции. Применение разложения (13) существенно упрощает процесс вычисления передаточных функций $W(s_1, \dots, s_n)$ нелинейной системы (12), которая может быть вычислена по следующей формуле:

$$W(s_1, \dots, s_n) = \sum_{i=1}^n W_i(s_1, \dots, s_i),$$

где

$$W_1(s_1) = [s_1 I - A]^{-1} C; \quad W_2(s_1, s_2) = [(s_1 + s_2) I - A]^{-1} B [s_1 I - A]^{-1} \times [s_2 I - A]^{-1} [C \times C].$$

Предлагаемый способ описания нелинейных динамических систем может быть использован для качественного анализа и расчета широкого класса систем управления и стабилизации летательных аппаратов.

Соединение отдельных космических систем с наземными подсистемами позволяет создать космические комплексы. Так, например, создаются космические комплексы связи, геодезии и навигации. В космическом комплексе связи земные станции обмениваются информацией с искусственными спутниками Земли. Определение оптимального распределения станций с точки зрения критерия эффективности сети связи осуществляется путем сравнения случайным образом выбранных распределений. При этом цепь Маркова с непрерывным временем, описывающая функционирование сети, аппроксимируется диффузионным процессом, и потери вычисляются интегрированием методом статистических испытаний его плотности вероятности по областям, примыкающим к границам области определения процесса [12].

Наиболее важной частью решения любой задачи космической геодезии является обработка получаемой измерительной информации. Цель процесса фильтрации измерений — либо оценка координат наземного объекта, оснащенного измерительной аппаратурой, либо оценка вектора состояния ИСЗ при прогнозировании его траектории полета.

В работе [12] рассматривается задача оценки постоянного радиус-вектора наземного объекта $x^T = (x, y, z)$ по результатам измерений расстояния до ИСЗ r_i и направляющих косинусов $\cos \beta_n$ и $\cos \beta_{r_i}$ в присутствии помех при точно известном радиус-векторе ИСЗ $b_c^T = (x_c, y_c, z_c)$.

Основная проблема космической геодезии — существенное улучшение точности получаемых результатов, поэтому возникает необходимость в использовании нелинейных методов обработки информации с учетом систематических составляющих ошибок измерений.

Процесс проведения измерений можно представить в следующем виде:

$$\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{h}_{k+1}(\mathbf{x}) + \mathbf{e} + \mathbf{V}_{k+1}, \quad (14)$$

где векторная нелинейная функция \mathbf{h}_{k+1} определяет связь между вектором измерения $\mathbf{z}_{k+1}^T = (\cos \beta_{1k+1}, \cos \beta_{2k+1}, r_{k+1})$ и оцениваемым радиус-вектором наземного объекта в присутствии соответственно систематической составляющей ошибок измерений $\mathbf{e}^T = (c_1, c_2, c_3)$ и гауссовских шумов $\mathbf{v}_{k+1}^T = (v_{\cos \beta_{1k+1}}, v_{\cos \beta_{2k+1}}, v_{r_{k+1}})$.

Вводя расширенный вектор состояния системы $\mathbf{y}^T = (\mathbf{x}^T; \mathbf{e}^T)$ и обозначая $\mathbf{f}_{k+1} = \mathbf{h}_{k+1}(\mathbf{x}) + \mathbf{e}$, получаем следующую модель процесса проведения измерений:

$$\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{f}_{k+1}(\mathbf{y}) + \mathbf{v}_{k+1}. \quad (15)$$

При выводе уравнений нелинейной фильтрации векторную функцию \mathbf{f}_{k+1} следует разложить в ряд Тейлора, ограничиваясь членами второго порядка. Вводя систему базисных векторов

$$\Psi_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \Psi_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \dots, \Psi_n = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix},$$

разложение функции можно записать следующим образом:

$$\mathbf{f}(\mathbf{a}) \simeq \mathbf{f}(\mathbf{a}_0) + \Phi(\mathbf{a}_0)(\mathbf{a} - \mathbf{a}_0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Psi_i (\mathbf{a} - \mathbf{a}_0)^T F_i(\mathbf{a}_0) (\mathbf{a} - \mathbf{a}_0), \quad (16)$$

где элементы матриц Φ и F_j определяются с помощью формул

$$[\Phi(\mathbf{a}_0)]_{kl} = \left. \frac{\partial f_k}{\partial a_l} \right|_{\mathbf{a}_0}, \quad k = 1, 2, \dots, m; \quad l = 1, 2, \dots, n;$$

$$[F_j(\mathbf{a}_0)]_{kl} = \left. \frac{\partial^2 f_j}{\partial a_k \partial a_l} \right|_{\mathbf{a}_0}, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad k, l = 1, 2, \dots, n.$$

Оценку вектора состояния системы будем искать в виде

$$\mathbf{y}_{k+1} = \hat{\mathbf{y}}_k + K_{k+1} [\mathbf{z}_{k+1} - \mathbf{f}_{k+1}(\hat{\mathbf{y}}_k)] - \mathfrak{z}_{k+1}, \quad (17)$$

$$\mathfrak{z}_{k+1} = \frac{1}{2} K_{k+1} \sum_{j=1}^m \Psi_j \operatorname{tr} [F_{k+1, j}(\hat{\mathbf{y}}_k) Q_k]. \quad (18)$$

Выбор оптимальной матрицы K_{k+1} в уравнениях нелинейной фильтрации производится на основании минимизации функционала $J_{k+1} = \varepsilon \{\hat{\mathbf{e}}_{k+1}^T s_{k+1} \hat{\mathbf{e}}_{k+1}\}$, где матрица s_{k+1} — произвольная,

симметричная. Оптимальная матрица K_{k+1} должна удовлетворять матричному уравнению $\partial J_{k+1} / \partial K_{k+1} = 0$. Окончательно получаем следующую формулу:

$$K_{k+1} = Q_k \Phi_{k+1}^T(\hat{y}_k) [\Phi_{k+1}(\hat{y}_k) Q_k \Phi_{k+1}^T(\hat{y}_k) + R_{k+1} + T_{k+1}]^{-1},$$

где $(T_{k+1})_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr} [F_{k+1,i}(\hat{y}_k) Q_k F_{k+1,j}(\hat{y}_k) Q_k]$; R_{k+1} — ковариационная матрица шумов измерения.

Выражение для матрицы K_{k+1} после несложных преобразований можно представить в следующем виде: $K_{k+1} = Q_{k+1} \Phi_{k+1}^T (R_{k+1} + T_{k+1})^{-1}$, где ковариационная матрица ошибки оценки вычисляется на основании формулы

$$Q_{k+1} = \varepsilon \{\hat{e}_{k+1} \hat{e}_{k+1}^T\} = Q_k - Q_k \Phi_{k+1}^T(\hat{y}_k) [\Phi_{k+1}(\hat{y}_k) Q_k \Phi_{k+1}^T(\hat{y}_k) + R_{k+1} + T_{k+1}]^{-1} \Phi_{k+1}(\hat{y}_k) Q_k.$$

Изучение влияния шумов на точность оценок показало, что для получения оценок с точностью порядка 1 см необходимо, чтобы ошибки в измерении направляющих косинусов и расстояния не превышали соответственно $0,48 \cdot 10^{-8}$ и 0,1 м.

Проблема повышения точности радиоизмерений, проводимых с помощью радиоинтерферометрических систем различной геометрии для космических геодезических комплексов, заключается в исключении систематических ошибок результатов измерений.

Для интерферометра, состоящего из двух антенн, в приближении концентрически стратифицированной изотропной атмосферы получены формулы, позволяющие с высокой точностью определять рефракционные поправки к измеряемым величинам дальности до наблюдаемого объекта и к направляющему углу на объект. Найденные формулы позволяют проводить оценку поправок на параллакс для интерферометров двух различных типов. Величины поправок анализируются в зависимости от отношения величин расстояния до наблюдаемого объекта к длине базы интерферометра.

Полученные в работе результаты позволяют исключить систематическую составляющую ошибки при математической обработке данных радиоинтерферометрических измерений [14].

Алгоритмы управления спуском пилотируемых КЛА в атмосфере Земли, обладающие свойствами инвариантности, позволяют избежать двух недостатков: значительных методических ошибок, жестких требований к БЦВМ. Для этого используется условие принадлежности траектории данному многообразию, что дает возможность получать в аналитической форме зависимость управления от фазовых координат и измеряемых компонент вектора перегрузки. При этом не возникает необходимости непосредственно измерять возмущение. Задача синтеза закона управления, удовлетворяющего условиям инвариантности, успешно решается, если полученные зависимости согласуются с ограничениями на управление [15].

Внедрение в практику разработки систем управления летательными аппаратами бортовых вычислительных машин позволяет повысить качество управления, реализовать логические, нелинейные и другие сложные законы управления. Одновременно усложняется процесс расчета таких систем, увеличивается время их проектирования.

Применение эффективных математических методов и высокопроизводительных вычислительных машин открывает возможности для повышения технического уровня проектов, сокращения сроков проектирования.

По данным зарубежных ученых, время проектирования, конструирования и доводки самолетов и ракет с использованием ЭВМ сокращается в 2—3 раза, подготовка производства ускоряется в 3—5 раз при одновременном уменьшении затрат на 50—80%.

При применении ЭВМ усложнению проектов, или, иначе говоря, увеличению объема перерабатываемой информации, противопоставляются новые методы и средства ее обработки. Таким образом, ЭВМ открывает возможности для автоматизации проектирования, создания систем автоматизированного проектирования, в которых взаимосвязаны все стадии разработки.

Высокая производительность современных ЭВМ позволяет проектировщику за короткое время просмотреть большое число вариантов и выбрать оптимальную структуру системы управления. Это сокращает сроки и стоимость наиболее дорогостоящих длительных этапов полунатурных и натуральных испытаний летательных аппаратов.

Процесс проектирования включает творческие и формальные этапы. Творческий этап связан с принятием решения. Формальный этап включает численные расчеты, хранение, поиск и обработку информации, изготовление документации. Формальные этапы составляют не менее 40—50% общего баланса времени, затрачиваемого на проектирование [16], и их можно передать ЭВМ.

Система автоматизированного проектирования является человеко-машинной системой с рациональным распределением информации и функций проектирования между проектировщиком и ЭВМ.

Наиболее эффективен процесс проектирования, если он организован в виде диалога «проектировщик — ЭВМ» с применением терминалов, находящихся на рабочем месте проектировщика. Такие терминалы, как алфавитно-цифровые и графические дисплеи, графопостроители, позволяют создать систему автоматизированного проектирования, которая выполняет одиночный расчет за 40—100 с. Такие временные интервалы оптимальны при работе с терминалами [16]. Получив по существу мгновенный ответ, проектировщик принимает решение: продолжить расчеты, выбрать новый вариант схемы или остановиться на исследуемом. Функция человека — решать творческие задачи, а трудоемкие

и рутинные расчеты возлагаются на быстродействующую вычислительную систему.

Создание системы автоматизированного проектирования связано с разработкой как общесистемного, так и прикладного программного обеспечения.

Системное программное обеспечение предназначено для организации диалога проектировщика с ЭВМ, а прикладное программное обеспечение включает пакеты прикладных программ для решения задач расчета и проектирования систем управления летательными аппаратами. В работе [17] рассмотрены вопросы создания системы автоматизации расчета цифровых систем управления. Описана структура системы проектирования, реализованной на ЭВМ единой серии. Разработано программное обеспечение в виде диалоговой системы программирования ДИАЛ, обеспечивающей эффективные средства работы с пакетами прикладных программ.

Для решения задач анализа в состав пакета программ включены следующие процедуры: COMEIG — спектральное разложение произвольной матрицы; MFUNC — вычисленные функции от матриц и построение дискретных моделей; TRFUNC — вычисление передаточных функций; PROOT — отыскание корней алгебраического n -го порядка; FREQLS — получение частотных характеристик; CLLOOP — замыкание одноконтурных и многоконтурных непрерывных и дискретных систем с одним или несколькими периодами квантования; КН — вычисление спектрального числа обусловленности матриц; GRAPH — построение графиков на алфавитно-цифровых устройствах (АЦПУ).

В табл. 1, 2 приведены задачи анализа непрерывных и дискретных систем, которые могут быть решены с помощью описанного пакета программ.

В работе [18] приведены способы описания соединения сложных динамических систем, удобные для организации расчетов на ЭВМ.

Если подсистема S_1 порядка n_1 описывается уравнениями состояния

$$S_1: \begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = A^{(1)}\mathbf{x} + \mathbf{b}^{(1)}u^{(1)}; \\ \mathbf{y}^{(1)} = \mathbf{c}^{(1)T}\mathbf{x} + \mathbf{d}^{(1)}u^{(1)}; \end{cases} \quad (19)$$

а подсистема S_2 порядка n_2 — уравнениями

$$S_2: \begin{cases} \dot{\mathbf{z}} = A^{(2)}\mathbf{z} + \mathbf{b}^{(2)}u^{(2)}, \\ \mathbf{y}^{(2)} = \mathbf{c}^{(2)T}\mathbf{z} + \mathbf{d}^{(2)}u^{(2)}, \end{cases} \quad (20)$$

то при последовательном соединении приведенных подсистем

Таблица 1

Перечень задач	Входные параметры	Процедуры пакета								Выходные параметры
		COMBIG	KH	MFUNC	TRFUNC	PROOT	FREQLS	GLLOOP	MATPR	
Вычисление собственных значений и векторов и вывод их на печать	N, A	+							+	LAMBDJ, RJ, LJ
Вычисление спектрального числа обусловленности	N, A	+	+						+	$k(R)$
Вычисление передаточной функции W(S)	A, b, c ^T , N	+			+	+			+	alpha, beta
Вычисление частотных характеристик в выбранном диапазоне частот	N, A, b, c ^T , $\omega_0, \Delta\omega, k$									
АФЧХ ЛАФЧХ фаза-амплитуда		+						+	+	$\omega, \text{Re}W, \text{Im}W$ $\text{Lm} W(\omega) , \psi(\omega)$ $\text{Lm} W(\psi) , \omega$
Замыкание системы обратной связи	A, b, c ^T , N, A*, b*, c ^{T*} , d*, N*							+	+	A, b, c ^T , N + N*
Корневой годограф	A, p	+							+	LAMBDJ(p)
Построение переходного процесса	A, b, c ^T , T, k	+		+					+	{y(kT)}
Анализ управляемости и наблюдаемости	N, A, b, c ^T	+							+	{cr _i ^H b}
Построение дискретных моделей непрерывной системы	N, A, b, c ^T T	+		+					+	$\Phi, f, c^T T, N$

$S = S_2 \times S_1$ результирующая система описывается уравнениями

$$S: \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(1)} & \mathbf{b}^{(1)}\mathbf{c}^{(2)T} \\ 0 & A^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{b}^{(1)}\mathbf{d}^{(2)} \\ \mathbf{b}^{(2)} \end{bmatrix} u, \quad (21)$$

$$y = [\mathbf{c}^{(1)T} \mathbf{d}^{(1)}\mathbf{c}^{(2)T}] \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} + \mathbf{d}^{(1)}\mathbf{d}^{(2)}u.$$

Таблица 2

Перечень задач	Входные параметры	Процедуры пакета								Выходные параметры
		COMEIG	MFUNG	TRFUNC	PROOT	FREQLS	CLLOOP	MATPR	GRAPH	
Построение дискретных моделей непрерывной системы	N, A, b, c^T, T	+	+							Φ, f, T, c^T, N
Анализ управляемости и наблюдаемости	N, Φ, f, c^T	+						+		$\{c^T \text{Tr} \{ e^{HT} f \}\}$
Вычисление дискретных передаточных функций	Φ, f, c^T, N									
$W(z)$		+	+	+	+			+		alpha, beta
$W(s)$		+	+	+	+			+		alpha, beta
Частотные характеристики в выбранном диапазоне частот	$N, \Phi, f, c^T, \bar{\omega}_0, \Delta\bar{\omega}, k$									
АФЧХ		+	+			+		+	+	$\bar{\omega}, \text{Re } W, \text{Im } W$
ЛАФЧХ		+	+			+		+	+	$Lm W(\bar{\omega}) , \varphi(\bar{\omega})$
фаза-амплитуда		+	+			+		+	+	$Lm W(\varphi) , \bar{\omega}$
Замыкание системы обратной связью	$\Phi, f, c^T, N, \Phi^*, f^*, c^{T*}, d^*, N^*$							+	+	$N, f, c^T, N + N^*$
Корневой годограф	Φ, p	+							+	LAMBDJ(p)
Построение переходного процесса	Φ, f, c^T, T, k								+	$\{y(kT)\}$

При параллельном соединении подсистем S_1 и S_2 результирующая система $S = S_1 \parallel S_2$ описывается уравнениями

$$S: \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(1)} & 0 \\ 0 & A^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b^{(1)} \\ b^{(2)} \end{bmatrix} u, \quad (22)$$

$$y = [c^{(1)} \mid c^{(2)}]^T \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + [d^{(1)} + d^{(2)}] u.$$

При соединении подсистем обратной связью в случае, когда

$d^{(1)} = 0$, результирующая система S имеет вид

$$S: \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \dot{\mathbf{z}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(1)} + \mathbf{b}^{(1)}\mathbf{d}^{(2)}\mathbf{c}^{(1)T} & \mathbf{b}^{(1)}\mathbf{c}^{(2)T} \\ \mathbf{b}^{(2)}\mathbf{c}^{(1)T} & A^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix}, \quad (23)$$

$$y = [\mathbf{c}^{(1)T}; 0] \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix}.$$

В работе планирования процесса решения задач проектирования систем управления КЛА предложен способ автоматического решения прикладных задач. Такой путь позволяет упростить решение конкретной задачи, поскольку требует лишь указания конечной цели расчета. Эта цель должна быть задана в виде совокупности характеристик, подлежащих вычислениям. Программа решения задачи составляется планировщиком автоматически, без участия человека.

Входной язык в этом случае проблемно ориентирован и значительно проще универсального диалогового языка. Работа такой системы автоматизированного расчета заключается в том, что процессор системы интерпретирует информацию, задаваемую проектировщиком на входном языке, а планировщик определяет последовательность используемых модулей и организует их последовательный вызов.

Планирование процесса решения задачи осуществляется на основе информации, содержащейся в модели предметной области, которая учитывает как информационную, так и логическую взаимосвязь модулей пакета. Это позволило разработать алгоритм планирования процесса решения задач на моделях с условными отношениями, с рекурсивными и циклическими участками.

Применение предложенной методики изложено на примере синтеза алгоритма для расчета частотных характеристик непрерывных и дискретных систем. На рис. 2 приведена часть модели предметной области, необходимая для решения поставленной задачи. Вершинам графа соответствуют операторы, а ребрам — следующие наборы переменных:

$$Z_1 = \{A1, T, TT, YO\}, \quad X_1 = \{N, TO\},$$

$$X_2 = \{N, CT, B, WO, F, K\}, \quad Y = \{RE, IM, W\}, \quad (23)$$

где N — порядок системы; $A1$ — матрица собственных значений; T, TT — матрицы правых и левых собственных векторов; YO — массив, задающий последовательность расположения собственных значений матрицы; CT — вектор формирования выхода; B — вектор передачи управления; WO — начальное значение диапазона частот для построения частотной характеристики; F — шаг изменения частоты; K — число точек частотной характеристики; TO — такт дискретности; RE, IM — массивы значений действительной и мнимой частей амплитудно-фазовой частотной характеристики; W — массив значений частоты.

Матрица A и переменная t на рис. 2 обозначают соответственно матрицу исходной системы и логическую переменную.

Имена переменных фиксируются при создании модели предметной области.

Расчет частотных характеристик непрерывной системы соответствует вычислению набора параметров $\{RE, IM, W\}$ при условии, что заданы значения переменных A, N, CT, B, WO, K, F, t ($t = 0$). В соответствии с методом синтеза ветвящихся процессов осуществляется «обратное» планирование программы расчета, исходя из цели вычислений. Это позволяет построить процесс вычисления частотной характеристики в следующем виде: $COMEIG \rightarrow FREQLS$ ($t = 0$).

Расчет частотных характеристик дискретной системы связан с вычислением набора параметров $\{RE, IM, W\}$ по заданным значениям $A, N, CT, B, WO, K, F, TO, t$ ($t = 1$). В отличие от предыдущего случая здесь необходимо использовать алгоритмы синтеза как ветвящихся, так и циклических процессов. В результате автоматического синтеза будет создан следующий вычислительный процесс для определения частотных характеристик дискретной системы: $COMEIG \rightarrow MFUNC \rightarrow COMEIG \rightarrow FREQLS$ ($t = 1$).

Неотъемлемым этапом процесса проектирования систем управления летательными аппаратами является процесс полунатурного моделирования. На этом этапе также широко применяется современная вычислительная техника. В работе [19] дается анализ систем ручного, директорного и автоматического управления летательным аппаратом на моделирующем пилотажном стенде.

Для отработки автоматических режимов авторы рекомендуют использовать цифровые и аналоговые ЭВМ, объединенные в аналого-цифровой комплекс.

При исследовании режимов директорного и ручного управления условия эксперимента необходимо максимально приблизить к реальным. Основным фактором, который влияет на характеристики ручного и директорного управления, являются перегрузки, действующие на экипаж. Данное явление можно симитиро-

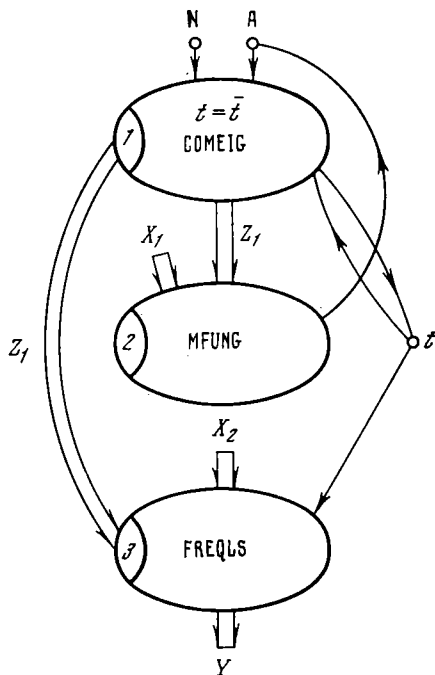


Рис. 2

Динамический стенд (ЦФ-7)

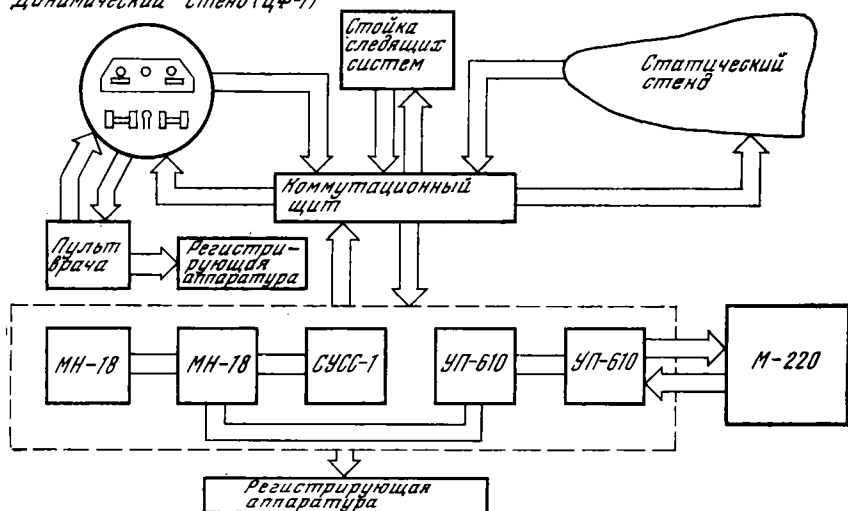


Рис. 3

вать с помощью центрифуги, управляемой в реальном масштабе времени по командам аналого-цифрового комплекса. Предложена структура пилотажно-исследовательского стенда, позволяющего имитировать движение КЛА на участке спуска в атмосфере в режимах ручного, директорного и автоматического управления.

Применение такого стенда позволяет проверить выбор структуры и параметров контуров управления в штатных и аварийных условиях полета; отработать оптимальное взаимодействие пилота и средств автоматики; определить возможности пилота (человека-оператора) по управлению летательным аппаратом в условиях воздействия реальных перегрузок; обосновать требования к размещению индикаторов приборной доски; дать рекомендации по оптимальному размещению рычагов управления.

Оснащение стенда вычислительной техникой позволяет организовать оптимальную обработку информации в процессе эксперимента и тем самым повысить качество и сократить сроки проектирования каждой конкретной системы управления.

На рис. 3 изображена структурная схема пилотажно-исследовательского стенда, позволяющего решать с достаточной точностью в реальном масштабе времени систему уравнений, описывающих движение КЛА на участке спуска в атмосфере в режимах ручного, директорного и автоматического управления. При этом осуществляется учет изменения в широких пределах аэродинамических характеристик аппарата, моделируются возможные возмущения и имитируется действие перегрузок на оператора в процессе спуска, а также контролируется его психологическое

состояние. Стенд состоит из аналого-цифрового моделирующего комплекса, центрифуги ЦФ-7, двух идентичных кабин статического и динамического стендов и специального медицинского оборудования.

Аналого-цифровой моделирующий комплекс включает АВМ МН-18 и ЦВМ М-220 с вспомогательной аппаратурой (секцией полупроводниковых следящих систем, преобразователем «аналог—цифра» и «цифра—аналог», регистрирующей аппаратурой и т. п.). При этом предлагается следующее распределение решения системы уравнений, описывающей движение аппарата между АВМ и ЦВМ.

На АВМ решаются: система уравнений, описывающих движение аппарата относительно центра масс; система уравнений, описывающих законы управления угловым движением (при этом возможно подключение реальных элементов системы, например датчиков, указателей приборных досок и т. д.); система уравнений, описывающих работу аэродинамических органов (при этом возможно подключение реальных приводов); система уравнений, описывающих работу газодинамических органов, и т. д. Кроме того, с помощью АВМ осуществляется преобразование сигналов, поступающих с ручки управления, преобразование информации, выводимой на приборную доску, и т. п.

На ЦВМ решаются: системы уравнений, описывающих движение центра масс аппарата; системы уравнений, описывающих работу навигационной системы и законы управления движением центра масс; рассчитываются изменяющиеся по траектории коэффициенты углового движения; вычисляются значения комплексного показателя качества функционирования системы управления.

Сложность полунатурного моделирования с участием человека-оператора обуславливает потребность в разработке математической модели его деятельности. В работе [20] приводится описание деятельности оператора методом порождающей обобщенной модели. Ее построение связано с решением двух задач: синтез обобщенной математической модели взаимодействия биологических регуляторных систем и разработок метода определения математической модели человека-оператора для конкретных условий деятельности. Такой подход назван методом порождающей обобщенной модели (ПОМ).

В качестве математического аппарата построения модели используется двухфакторная теория автоматов.

Метод ПОМ позволил построить математическую модель для оценки времени реакции человека-оператора при выполнении дискретных операций управления.

Эта модель строится в виде закона распределения времени реакции человека-оператора t_p :

$$W(t_p) = \frac{y_H}{\sqrt{2\pi} z\sigma(t_p - \tau)} \exp \left\{ \frac{y_H}{z(t_p - \tau)} - \bar{\alpha}^2 \right\}, \quad (24)$$

где z — уровень входного сигнала; U_n — величина порогового уровня; \bar{a} — среднее значение параметра модели; τ — запаздывание реакции.

Эта модель была использована для оптимального планирования эксперимента при полунатурном моделировании с участием человека-оператора. Решению этой задачи посвящена работа [21], в которой показана необходимость полной автоматизации эксперимента на основе применения вычислительных машин. Это требует создания системы управления научным экспериментом. Вывод на печать значений статистики, входящих в критерий при проверке рабочей гипотезы, значительно сокращает общее время обработки экспериментальных данных и облегчает работу экспериментатора. Таким образом, автоматизация эксперимента является основным средством повышения его эффективности.

Применение ЭВМ на всех этапах проектирования систем управления позволяет в 2—3 раза уменьшить затраты труда и сократить сроки внедрения новых разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фуллер А. Т. Оптимизация релейных систем по различным критериям качества. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
2. Петров Б. Н., Боднер В. А., Алексеев К. Б. Аналитическое решение задачи управления пространственным поворотным маневром.— ДАН СССР, 1970, 192, № 6.
3. Крымов А. Б., Васильев А. С. Управление угловым движением инерционно-несимметричным аппаратом.— Наст. сборник.
4. Шеттин Ю. Д., Резник Г. М. Синтез систем управления, приближенно оптимальной по быстродействию.— Наст. сборник.
5. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М.: Мир, 1977.
6. Киселев А. И., Хашутогова С. А. Методы автоматизированного синтеза систем управления ЛА.— Наст. сборник.
7. Kalman R. E. Contributions to the theory of optimal control.— Vol. Soc. Mat. Mexicana, 1960, N 5, p. 102—119.
8. Клюев В. П. Выбор системы управления при определенных неисправностях.— Наст. сборник.
9. Кузнецко А. И. Проблема инвариантности в автоматике. Киев: Гостехиздат, 1963.
10. Моисеев Н. Н. Оптимизация и управление.— Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1974, № 4.
11. Аверина А. Д., Модяев А. Д. Применение векторно-матричного математического аппарата к анализу нелинейных систем управления.— Наст. сборник.
12. Кочегаров В. А., Абузов А. А. Методика расчета сетей связи через ИСЗ.— Наст. сборник.
13. Щетилов С. И., Йсайко А. М. Использование нелинейной фильтрации при обработке геодезической информации в космических комплексах.— Наст. сборник.
14. Щетилов С. И., Лазров К. Н. Исследование точностных характеристик радиоинтерферометрических средств наблюдения.— Наст. сборник.
15. Кулябичев Ю. П., Пережегин А. А. Управление спуском КЛА с орбиты ИСЗ.— Наст. сборник.
16. Итоги науки и техники. Авиастроение. Т. 3. Машинное проектирование летательных аппаратов. М.: ВИНТИ, 1976. 216 с.

17. *Потемкин В. Г., Забродин С. П., Крачченко В. В.* Система автоматизации проектирования цифровых систем управления летательных аппаратов.— Наст. сборник.
18. *Потемкин В. Г., Сергеевский М. В.* Алгоритмы планирования процесса решения задач проектирования систем управления КЛА.— Наст. сборник.
19. *Хрунов Е. В., Любимов А. В., Митрошин Э. И., Крымов А. Б., Найденов В. П., Горбатенко В. В., Вова В. Е.* Постановка задач исследования систем ручного, директорного и автоматического управления летательного аппарата на моделирующем пилотажном стенде.— Наст. сборник.
20. *Волков А. М., Калачев А. Г.* Описание деятельности оператора методом порождающей модели.— Наст. сборник.
21. *Романов Н. С., Тюхменев А. С.* Планирование эксперимента при построении моделей деятельности человека-оператора.— Наст. сборник.

✱

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

В. П. МИШИН, Д. Н. ЩЕВЕРОВ

Введение. Автоматизация проектных работ осуществляется в целях сокращения сроков проектирования, повышения качества проекта, увеличения производительности труда проектантов, повышения творческого содержания проектных работ, снижения затрат на разработку, управления техническим уровнем проектируемого объекта, совершенствования методов проектирования и общей организации работ. Однако эти цели реализуются сейчас неполно. Так, автоматизация отдельных операций пока несущественно снижает время, необходимое для формирования проекта в целом. Автоматизация идет главным образом в области изучения повторяющихся задач функционирования объектов проектирования — баллистики, аэродинамики, прочности, нагрева, надежности, эффективности и др. И в меньшей мере связана с проведением наиболее трудоемкой проектно-конструкторской работы по формированию облика и определению летно-технических характеристик летательного аппарата (ЛТХ ЛА), компоновке отсеков, выбору оптимальных вариантов проектных решений, конструированию агрегатов и узлов, формированию технической документации и др. Качество проекта и творческое содержание в большей мере зависят от квалификации проектантов — их изобретательности и умения принимать принципиально новые и компромиссные решения, именно от того, чего не может обеспечить пока техника [1].

Внедрение дорогостоящей техники в большинстве случаев ведет к росту штатов и несколько повышает общий уровень затрат на проект. Тем не менее общий ход технической революции — введение в строй ЭВМ третьего и четвертого поколений, появление новых периферийных средств, совершенствование методов проектирования и большие работы, проведенные по формированию программ пользователей, — дает уверенность в необходимости внедрения систем автоматизированного проектирования (САПР) в центральных конструкторских бюро отрасли.

В процессе разработки САПР выявилось важное значение теоретических обобщений. В частности, недостаточное внимание к общесистемным принципам: сосредоточения, совместимости, актуализации и лабильности — привело к значительным потерям средств, времени и труда. Так, несовместимость ЭВМ второго поколения принесла громадный вред при реализации прикладных программ пользователей (ППП). Отсутствие достаточной лабиль-

ности, проявляющейся в реализации системы модулей, свободном пополнении ППП и др., также задержало внедрение ЭВМ в процесс проектирования. Недостаточное внимание к соблюдению принципа актуализации в смысле представления главному звену САПР — человеку — приоритета в процессе формирования проекта до сих пор существенно снижает эффективность отечественных САПР.

Ниже рассматриваются следующие принципиальные вопросы автоматизации проектно-конструкторских работ: методология и принципы формирования САПР; задача оптимального проектирования и возможные подходы к ее решению; процесс проектирования и структура основных ветвей алгоритма САПР КБ.

Методология формирования САПР определяется структурой и связями, возможностями новой техники, задачами и характером традиционного процесса проектирования. Рассмотрим структуру и связи САПР. САПР является организационно-технической системой, объекты которой выполняют задачу формирования эффективной информации — документов по проекту КЛА, КА и др. САПР имеет три подсистемы: 1) объект проектирования (КЛА); 2) коллективы проектантов и 3) техническое обеспечение. Между объектами этих подсистем существуют связи: 1) по назначению — внешние, параметрические (пообъектовые-морфологические), функциональные, информационные и организационные; 2) по направлению — иерархические, прямые, обратные и циклические между объектами одного и разных уровней. На рис. 1 показаны структура САПР и главные связи. Принципиальная схема управления организационно-технической системой (ОТС) типа САПР приведена на рис. 2. В данном случае задача оптимального управления заключается в определении вектора параметров управления САПР Π_y^0 , при которых вектор выходных параметров КЛА (векторный критерий качества) Π_B^0 имеет наилучшие характеристики:

$$\Pi_B^0 = \underset{\Pi_y^0 \in U}{\text{opt}} \Pi \{ \Pi_y^0, \Pi_0^0, \tilde{\Pi}_0, \Pi_c^0(t) \underset{\Pi_y \in \Pi_y^0}{\text{opt}} [\Pi_y, \Pi_c(t), \Pi_0, \tilde{\Pi}] \}, \quad (1)$$

где Π_B — вектор выходных параметров проектируемой системы (ЛА); $\Pi_c^0(t)$, $\Pi_c(t)$ — векторы параметров состояния САПР и ЛА; Π_y^0 , Π_y — векторы параметров управления САПР и ЛА; Π_0^0 , Π_0 — векторы начальных параметров САПР и ЛА; $\tilde{\Pi}^0$, $\tilde{\Pi}$ — векторы параметров возмущения САПР и ЛА; U — область допустимых решений.

Задача оптимального проектирования КЛА при фиксированных характеристиках САПР заключается в установлении вектора параметров управления КЛА Π_y при наилучших характеристиках проекта, когда

$$\Pi_B = \underset{\Pi_y \in U}{\text{opt}} [\Pi_y, \Pi_c(t), \Pi_0, \tilde{\Pi}]. \quad (2)$$

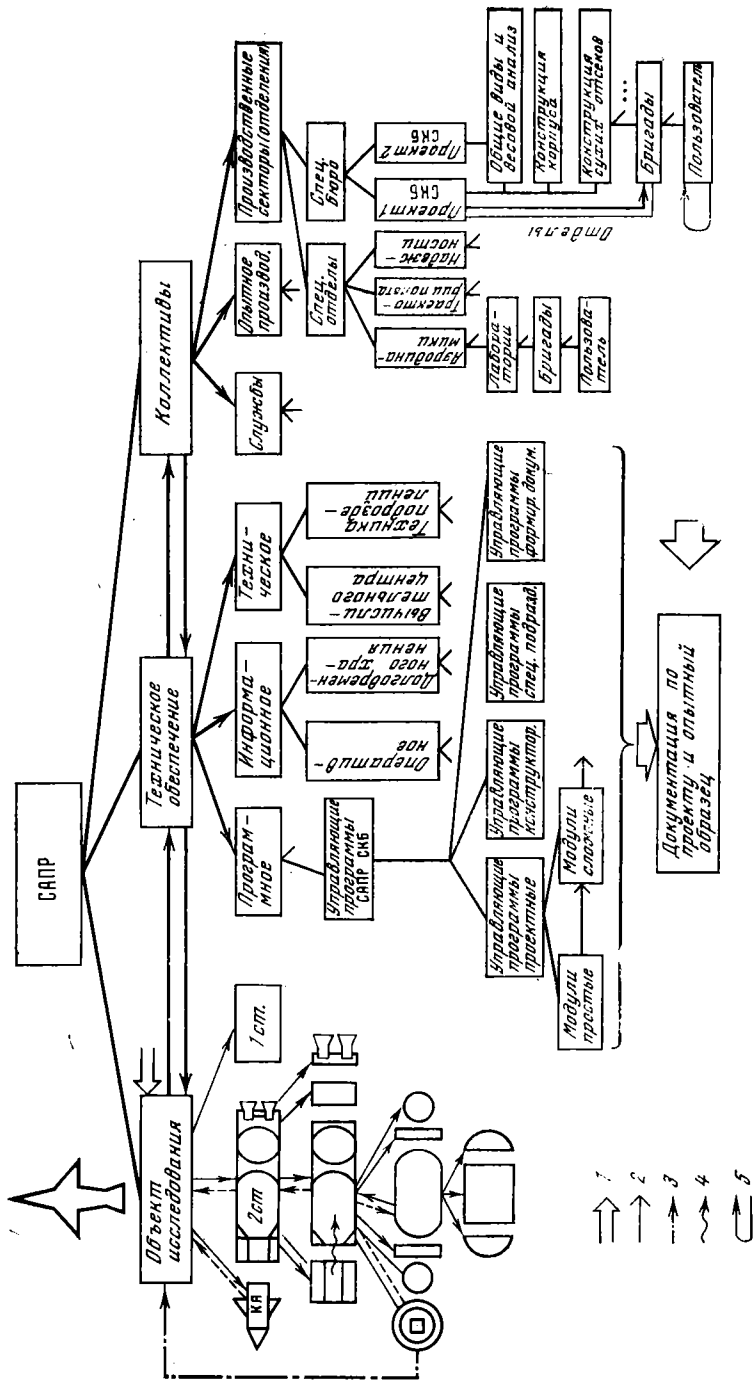


Рис. 1. Структура подсистемы САПР
 Связь: 1 — внешние, 2 — иерархические параметрические, 3 — прямые функциональные, 4 — прямые параметрические, 5 — циклические

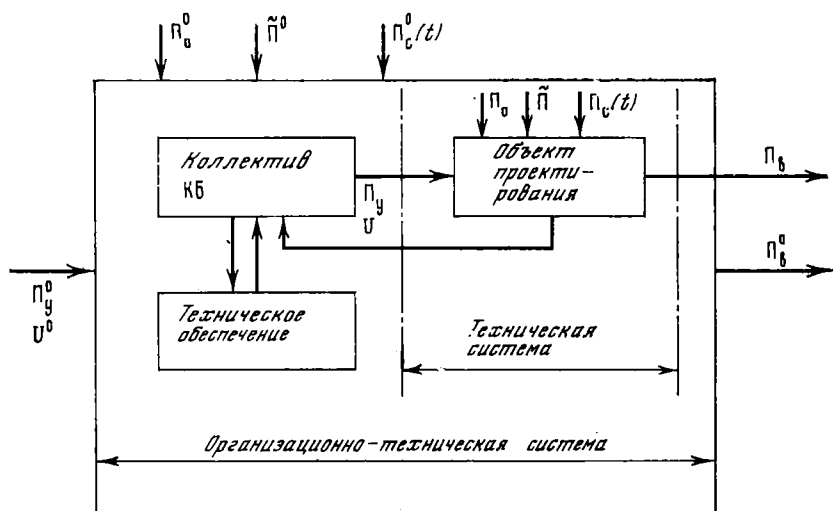


Рис. 2. Принципиальная схема управления организационно-технической системой типа САПР

Таким образом, задачи оптимального управления САПР и поиска параметров КЛА при фиксированных характеристиках подсистем САПР являются замкнутыми, векторными (компромиссными), динамическими и стохастическими. Решение таких замкнутых, чрезвычайно сложных задач для объектов верхнего уровня возможно только путем членения на основе использования принципов замены связей реакциями, суперпозиции и итерационного приближения к достаточному по точности решению. Поэтому процесс разработки проекта КЛА и его подсистем связан с непрерывным накоплением информации, носящим итерационный характер, зависящим от уровня подготовки проектантов, технического оснащения, организации процесса проектирования и, естественно, сложности проекта. Подчеркнем, что именно исследование структуры и связей при выбранных параметрах управления (способах улучшения проекта) дает возможность выделить частные задачи и определить критерии качества в целевой функции (2).

Выделение состава объектов для формирования модели исследуемой системы основывается на характере связей. Некоторый опыт [2] позволяет утверждать, что в данном случае рационально отдельно изучать задачи: 1) прогнозирования, 2) функциональные, связанные с изучением прямых функциональных связей — по эффективности средств оснащения, 3) параметрические.

Учитывая межуровневые прямые связи, например влияние диаметра носителя на стоимость стартовых сооружений, а также снижение влияния параметров объектов на показатели систем

более высокого уровня, в качестве типовой может быть принята двухуровневая модель. Такая модель для топливного отсека (ТО) ЛА включает: ТО, его подсистемы, системы того же уровня что, и ТО, и следующего уровня — носителя КЛА. Для КЛА двухуровневая типовая модель включает РК, КЛА, СС, ТО, КП, отсеки и другие подсистемы ЛА. При выборе критерия используют принцип оптимальности, гласящий: «Система оптимальна тогда, когда ее подсистемы оптимальны в смысле критериев соответствующих систем более высокого уровня». Нужные «соответствующие системы» определяются из структуры объекта, так как именно по ее связям реализуется действие варьируемых величин — параметров управления. Исходя из этого свойства связей и принципа оптимальности, при выборе критериев можно использовать следующие правила.

1. В условно иерархических системах (в параметрических задачах) каждая подсистема должна формироваться по критерию системы следующего, более высокого уровня.

2. При наличии функциональных связей (в функциональных задачах) в качестве критерия следует принять показатель системы, функции которой определяет такая система, и др. [2].

Традиционный процесс проектирования носит итерационный характер, поэтому решение большинства проектных задач является циклическим и содержит следующие повторяющиеся работы: 1) постановку задачи и варьируемых альтернатив (синтез и анализ); 2) уточнение структуры модели объекта (синтез); 3) расчлененное исследование задач отдельных подсистем (анализ); 4) формирование обобщенной модели (синтез); 5) обобщенное исследование объекта в целях установления вектора Π_v и общих закономерностей (анализ и синтез). Таким образом, синтез и анализ сливаются в едином, повторяющемся с ростом эффективной информации процессе исследования. Недостаток информации в начале работ приводит к тому, что на первых циклах исследования пользуются более простыми моделями, которые уточняются по мере генерирования информации. Многоэтапность позволяет построить процесс проектирования на основе расчлененного решения задач, изучаемых в сравнительно простых режимах, отражающих реальный ход процесса, возможности и потребности каждой стадии и фазы работ над проектом. В связи с этим САПР КБ в смысле организации работ над проектом можно рассматривать состоящей из подсистем (ветвей) проектирования разных уровней — КЛА, отсеков, систем отсеков, агрегатов и узлов, работающих в нескольких режимах, зависящих от конкретных особенностей формирования документации по проекту на стадиях предпроектных исследований, технических предложений, формирования эскизного и технического проекта и его экспериментальной отработки. Приемы решения таких задач зависят от конкретных особенностей объекта, состава КБ, технических средств, фазы и организации процесса проектирования и множества других. Поэтому

представление о широкой стандартизации САПР разных КБ является эфемерным. Как и при традиционном подходе, процесс автоматизированного проектирования носит итерационный характер, обусловленный циклическим характером накопления информации, осуществляемый на базе ЭВМ, АВМ, периферийного обеспечения, малой вычислительной техники, микрофильмирования, телетайпов и других средств АСУ. В связи с этим САПР часто рассматривают как подсистему АСУ. По мере роста возможностей технического обеспечения — прикладных программ пользователей информационного обеспечения, а также периферийных устройств, необходимых для реализации диалога и формирования технических документов, будет расти степень автоматизации и меняться организационная структура КБ в смысле места и функций подразделений, обеспечивающих автоматизацию проектно-конструкторских работ. В связи с этим САПР следует рассматривать как саморазвивающуюся техническую систему с гибкой матричной структурой управления.

Высказанные выше соображения о структуре и связях, о задачах и возможных методических приемах — методике исследования — позволяют более четко определить принципы формирования САПР.

Принципы формирования САПР, как организационно-технические системы делятся на общие (диалектические и общесистемные) и конкретные, определяемые реальным характером проектно-конструкторских работ в КБ с новой техникой. Проектирование, как традиционное, так и в САПР, представляет собой итерационный динамический процесс управления развитием (формированием) новой технической системы, — процесс, в котором происходят как эволюционные, так и коренные изменения. В этом процессе проектант часто подсознательно применяет приемы диалектического мышления. Так, например, в процессе проектирования, как и в процессе познания, используют категории: 1) синтез — анализ — синтез как методическую основу итерационного изучения объекта проектирования; 2) дедукцию, индукцию и аналогии как метод изучения элементов и объекта в целом, 3) отрицание отрицания как форму движения в итерационном процессе отбора лучших решений, 4) переход количества в качество при выборе новых решений, и др.

Для отображения процесса познания при проектировании применяют математические и физические модели, основанные на объективных законах сохранения массы, энергии, средств и др., а также соотношения, моделирующие зависимость качества объекта от его параметров. Мерой количественных и качественных изменений является целевая функция (2). При проектировании истинником совершенствования проекта (развития) является выбор значений параметров управления, который может рассматриваться как единство и борьба неравнозначных противоположностей. В связи с этим принципиально новые решения — качествен-

ные скачки в развитии проекта — следует анализировать на основе изучения всех свойств вектора качества P_v , а количественные — на основе скалярных целевых функций вида «стоймость — эффективность», «вес — высота орбиты» и др. При проектировании целевая функция, характеризующая качество объекта, как бы моделирует его развитие, отражает цепь взаимосвязанных отрицаний, представляющих перебор альтернатив в дискретном и поиск лучших решений в непрерывных параметрическом и функциональном пространствах. Заметим, что закон отрицания при проектировании часто проявляется в форме возврата к старым предложениям на базе новой техники. Здесь утверждается диалектическая закономерность, что «все течет, все меняется». Особенно широко применяются диалектические категории при конструировании, когда конструктор, помимо логических правил, использует эвристические приемы — меняет критерии качества и использует решения, не укладывающиеся в рамки формального логического мышления. Именно здесь в наибольшей мере проявляется диалектическое утверждение, что «всякая истина конкретна».

К общесистемным относятся упомянутые выше принципы — совместности, сосредоточения, актуализации и лабильности. Принцип совместности подчеркивает наличие в системе разнообразных не отторгающих, а дополняющих друг друга объектов, согласованно выполняющих определенную задачу. Принцип совместности указывает на необходимость неоднородного состава и структуры, функциональное назначение системы в целом. Применительно к САПР этот принцип проявляется в разнообразии объектов проектирования, совместности технического, программного и информационного обеспечения, специализации коллективов и отдельных проектантов. Принцип сосредоточения заключается в подчинении действий отдельных пользователей и проектных подразделений, а также выбора способов использования технических средств главной цели САПР — эффективному и качественному выполнению проекта. Из этого принципа вытекает необходимость формирования единого алгоритма САПР, регламентирующего режим работы всех ветвей графа проектно-конструкторских работ, обеспечивающих комплексную организацию исследований в целях лучшего выполнения функций КБ в целом. Актуализация характеризует направленность развития системы в сторону совершенствования объектов системы, дающих наибольший эффект с точки зрения улучшения ее качества. Этот принцип отражает необходимость уделять большее внимание активному участию проектанта в процессе решения задач на ЭВМ, а также наиболее ответственным проектно-конструкторским задачам. Лабильность — быстрая приспособляемость к неожиданным изменениям под действием внешних возмущений — определяет направленность развития САПР на подъем на новый уровень, независимо от действия тормозящих факторов. Исходя из принципа лабильности, можно утверждать, что САПР должна быть изменчива, она

должна быстро приспосабливаться к новым условиям выполнения проектов на разных фазах и стадиях работ. Примером реализации принципа лабильности применительно к САПР является внедрение модульности программного обеспечения, свободного пополнения — декомпозируемости техники и программ и др. Из анализа задач, структуры и связей, процесса и методических приемов проектирования можно установить следующие конкретные принципы формирования САПР: иерархичности структуры и цикличности процессов проектирования; наиболее полного использования приемов творческого диалектического мышления проектантов; широкой формализации проектно-конструкторских задач; интерактивности — обеспечения за проектантом приоритета при постановке задачи и принятии решений; эволюционности — саморазвития; функциональной избыточности по сравнению с возможностями входящих в САПР подсистем; декомпозируемости — свободного пополнения; системного единства и комплексного решения задач; членения задач; адаптации модели в процессе исследования; поиска решений на расчлененных и обобщенных моделях; многоуровневости подсистем, задач и критериев; многорежимности использования программного и информационного обеспечения; стандартизации и унификации; системного построения программного и информационного обеспечения; определения не единственного оптимального, а области возможных решений для выбора лучшего компромиссного варианта объекта; ранжирования задач автоматизации в зависимости от экономической эффективности их внедрения; обеспечения высокой эффективности использования техники и возможностей проектантов на основе реализации алгоритма САПР; установления рациональных требований к продукции КБ — формам документации, составу и требованиям к чертежам, микрофильмам и другим разным фазам работ; применения способов и мер повышения качества проекта, охватывающих все ветви графа проектно-конструкторских работ, и др. Реализация современной техники идет на основе изложенных выше принципов и создает предпосылки работы КБ в новом, строго регламентированном режиме формирования проектов новых ЛА и других объектов, когда вместо периодической выдачи проектов идет установившийся процесс генерирования технической документации, обеспечивающий непрерывную реализацию новых идей и заказов. Изложенные выше принципы несколько видоизменяются при формировании программной и информационной подсистем САПР [2].

Задача оптимального проектирования КЛА заключается в поиске значений параметров управления — вектора Π_y , при котором вектор выходных параметров Π_n имеет наилучшее значение. Эта компромиссная динамическая стохастическая задача сводится обычно к однокритериальной квазидинамической детерминированной. При сведении к однокритериальной задаче из свойств, определяющих качество (Π_n), выделяют два главных, например стоимость (C) и эффективность действия (W) или вес КЛА (G_0)

и высоту орбиты (H), а другие вводятся в состав ограничивающих областей допустимых решений (U). Динамика, т. е. время, учитывается дискретно введением в расчеты нагрузки и параметров состояния прогнозируемых к сроку реализации проекта $t_{пр}$, когда $\Pi_c(t) = \Pi_c(t_{пр})$. Стохастический характер исследования учитывают методом динамических средних, когда решение ищется в детерминированной постановке, а его результаты рассматриваются как математические ожидания и отдельно определяются их предельные отклонения. В однокритериальной постановке задача оптимизации параметров КЛА, как подсистемы космической системы (КС), заключается в формировании проекта, обеспечивающего требуемую эффективность всей КС (W_d) в течение определенного срока при минимальных затратах средств ($C_{кс}$), когда

$$C_{кс} = \min_{\Pi_y \in U} C[\Pi_0, \Pi_c(t_{пр}), \Pi_{со}^y, \Pi_H^y, \Pi_{ск}^y, W_d], \quad (3)$$

где $\Pi_y = \Pi(\Pi_{со}^y, \Pi_H^y, \Pi_{ск}^y)$; $\Pi_{со}^y$, Π_H^y и $\Pi_{ск}^y$ — векторы параметров управления средства оснащения (КА), носителя, стартового комплекса.

В обратной постановке ищут параметры управления Π_y , обеспечивающие

$$W = \max_{\Pi_y \in U} W[\Pi_0, \Pi_c(t_{пр}), \Pi_{со}^y, \Pi_H^y, \Pi_{ск}^y, C_d], \quad (4)$$

где C_d — ограничение по затратам на КС.

В качестве параметров управления средств оснащения (КА) рассматривают тип и состав аппаратуры, параметры движения, массу полезного груза, альтернативы конструкции корпуса и др. К параметрам уравнения носителя относят высоту орбиты, число ступеней n , соотношение масс ϵ_i и коэффициенты тяговооруженности ступеней λ_i , давление в камерах сгорания ДУ P_{k_i} и на срезе P_{a_i} , альтернативы конструктивных решений A_k и др. Параметры управления стартового комплекса включают варьируемые при исследовании величины: время готовности, защищенность и другие альтернативы конструктивных решений.

Таким образом, задача оптимизации параметров КЛА в системе САПР связана прежде всего с определением его места среди других космических систем, с оценкой взаимосвязи с системами того же уровня и проектно-конструкторской проработкой подсистем самого КЛА. Если использовать упомянутый прием независимого исследования задач прогнозирования, параметрических и функциональных, и изучения системы вначале на расчлененных моделях, а затем путем обобщенного исследования, то расчлененное исследование КЛА можно представить логической моделью (рис. 3). Здесь помечены параметрические и функциональные задачи. Поиск лучшего решения в случае обобщенного исследования в зависимости от конкретных условий может вестись в различной

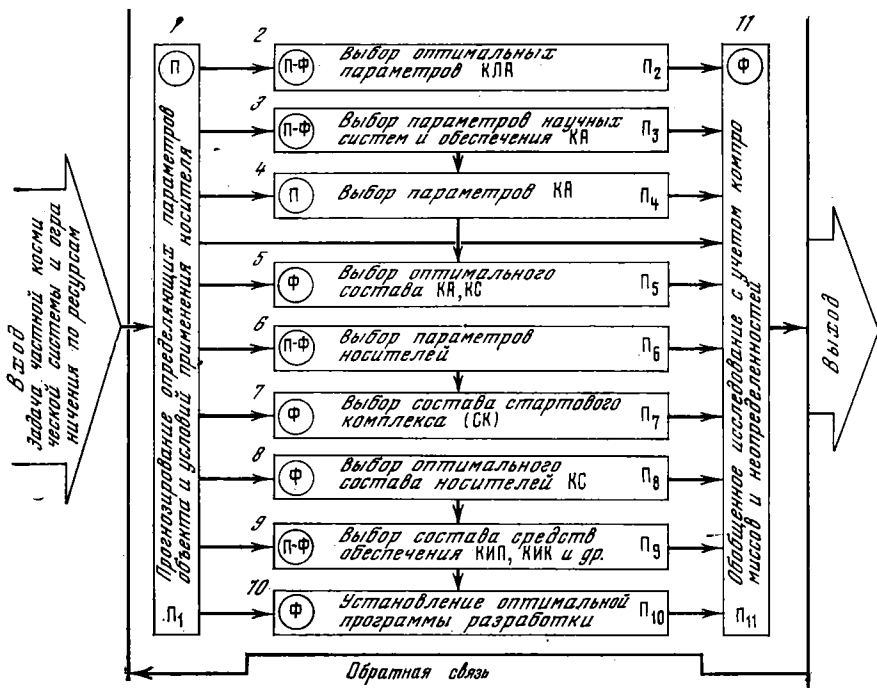


Рис. 3. Логическая модель исследования КЛА в составе КС

П — параметрические задачи, Ф — функциональные задачи

последовательности операций, например так:

$$\tilde{P}_1 \tilde{P}_2 \{ \tilde{P}_3 \tilde{P}_4 \tilde{P}_5 \tilde{P}_6 \tilde{P}_7 \tilde{P}_9 \tilde{P}_8 \tilde{P}_5 \tilde{P}_8 \} P_1 \tilde{P}_2 \{ P_3 P_4 P_6 P_7 P_9 \} P_2 P_{10}$$

В этом случае вначале осуществляется прогноз и выбор параметров для альтернативных вариантов КЛА ($\tilde{P}_1 \tilde{P}_2$). Затем производится выбор научных систем, определение параметров и состава КА первого приближения ($\tilde{P}_3 \tilde{P}_4 \tilde{P}_5$). Параллельно ведется определение оптимальных параметров носителей под альтернативы КЛА, с учетом возможного состава КА, параметров СК и средств оснащения выбирается состав носителей и КА ($\tilde{P}_6 \tilde{P}_7 \tilde{P}_9 \tilde{P}_8 \tilde{P}_5 \tilde{P}_8$). Уточняются параметры КЛА ($P_1 \tilde{P}_2$). Параллельно уточняются состав научных систем, параметры КА носителей, СК и средств оснащения (P_3, P_4, P_6, P_7, P_9), находятся «облик и ЛТХ» КЛА, устанавливается оптимальная программа разработки (P_2, P_{10}). Полнее рассмотрим одну из частных задач — задачу оптимизации параметров носителя. Она может быть сформулирована так: определить вектор параметров управления P_n^y , «облик и ЛТХ» носителя, обеспечивающий выполнение задачи при минимальных

затратах на выполнение задачи частной космической системы

$$C_{ТЗ}^{кэ} = \min C \{ \Pi_{н}^y, H, m_{пн}, \Pi_c(t_{пр}), \Pi_0 \}, \quad (5)$$

где H — высота орбиты; $m_{пн}$ — масса полезного груза; H и $m_{пн}$ являются дисциплинирующим условием.

Решение задачи (5) в форме математического программирования имеет следующие недостатки: при большом числе параметров управления не ясна картина влияния их на целевую функцию. Поэтому в качестве целевой функции целесообразно в задачах оптимизации сложных систем использовать декомпозиционные, например, в нашем случае вида

$$C_{ТЗ} = \min_{\Pi_y \in U} C [C_{ТЗ}(n), C_n'(d_i), C_n'(\varepsilon_i, \lambda_i), m_0(P_{к_i}, P_{a_i}, A_{к})], \quad (6)$$

где $\Pi_y = \Pi(n, d_i, \varepsilon_i, \lambda_i, P_{к_i}, P_{a_i}, A_{к})$, $i = \overline{1, n}$; $C_{ТЗ}$, C_n^1 , C_n' , m_0 — стоимость выполнения задачи, пуска одного КЛА, стоимость носителя и его масса; n — число ступеней носителя.

Таким образом, в декомпозиционной целевой функции одновременно используется совокупность критериев разных уровней, достаточно чувствительных к соответствующим параметрам управления. Из приведенных выше соображений по формированию общего метода исследования технической системы следует, что возможны различные подходы к формированию проекта оптимального КЛА.

Возможные подходы к решению задачи оптимального проектирования зависят от конкретных задач технического и программного обеспечения САПР, уровня подготовки проектантов. Общее количество методов и приемов определяется степенью свободы — зависит от возможных допущений вида моделей и математических методов оптимизации. Так, для решения одних и тех же задач могут быть сформированы методы и приемы: с различными принципами членения, а в отдельных случаях и без членения; методы, использующие суперпозицию и различные итерационные приемы приближения к решению; детерминированный подход с разной оценкой возможных отклонений и стохастические методы. Задачи могут решаться как векторные, с использованием разнообразных компромиссных методов (уступок, Порето и др.). Задачи могут решаться на основе сквозных или многорежимных программ, как вариационные в функциональном пространстве или экстремальные в параметрическом, с адаптацией моделей по мере роста информации и без адаптации моделей. В однокритериальной постановке может вестись поиск нескольких лучших решений для принятия компромиссного решения на основе экспертизы (оценок проектанта) или единственного — с выходом на глобальный экстремум. Решение может производиться при разном виде критериев эффективности и составе параметров управления как в постановке

задачи математического программирования, так и декомпозиционной.

При поиске лучших решений могут использоваться самые разнообразные методы оптимизации: градиентные — методы градиента, наискорейшего спуска, релаксации с использованием вторых производных и др.; безградиентные методы детерминированного поиска — сеток, Гаусса — Зайделя, Розенброка, сканирования и др.; методы случайного поиска — слепого, случайных направлений, случайных направлений с обратным шагом и др.; геометрического и линейного программирования и др. Кроме того, могут использоваться алгоритмы, построенные на классических методах решения задач поиска экстремума одного и многих переменных. Из приведенного выше следует чрезвычайное разнообразие возможных постановок задач, методов решения, алгоритмов, моделей, формирующих целевую функцию, и, естественно, модулей ППП. По существу представляется возможным комбинировать из приведенных выше десяти позиций свой метод исследования. Если добавить, что каждый исследователь волен в выборе обозначений, терминов, формы изложения, то возникает довольно много методов решений одних и тех же задач. В связи с этим необходимо согласовать общую структуру и состав методов решения проектно-конструкторских задач в рамках отрасли.

Процесс традиционного проектирования и алгоритм САПР. Совокупность задач с указанием последовательности их решения представляет сетевой график процесса проектирования. Один из вариантов сетевого графика (графа) традиционного процесса проектирования приведен на рис. 4. В данном случае проектирование начинается с анализа ТЗ и составления сетевого графика работ (1). Затем производится подбор и обработка данных по прототипам ЛА, прогноз нагрузки и параметров состояния к предполагаемому сроку реализации проекта (2). Далее выбираются альтернативные варианты 3. Производится уточнение характеристик двигательной установки (ДУ) (4). Осуществляется предварительный расчет объемов, геометрии и центровки вариантов первого приближения (5). Готовятся данные для альтернатив компоновочной схемы, разрабатываются варианты компоновочных схем ЛА с учетом особенностей старта и производственной базы (6). Изучается размещение внутри ЛА двигателя системы управления, полезной нагрузки и подсистем — определяются облик и ЛТХ ЛА второго приближения (7). Определяются перегрузки и расчетные случаи (8). Вычерчиваются общие виды альтернативных вариантов, уточняются веса и значения проектных параметров (9). Исследуется силовая схема и оценивается точность работы СУ, ДУ и их подсистем (10). Вносятся изменения в конструктивно-силовые схемы и общую компоновку, осуществляется анализ вариантов, уточняются компоновка и исключаются худшие (11). За первыми тремя циклами приближения к лучшему варианту следуют разветвленное последовательно-параллельное проектирование отсеков, агре-

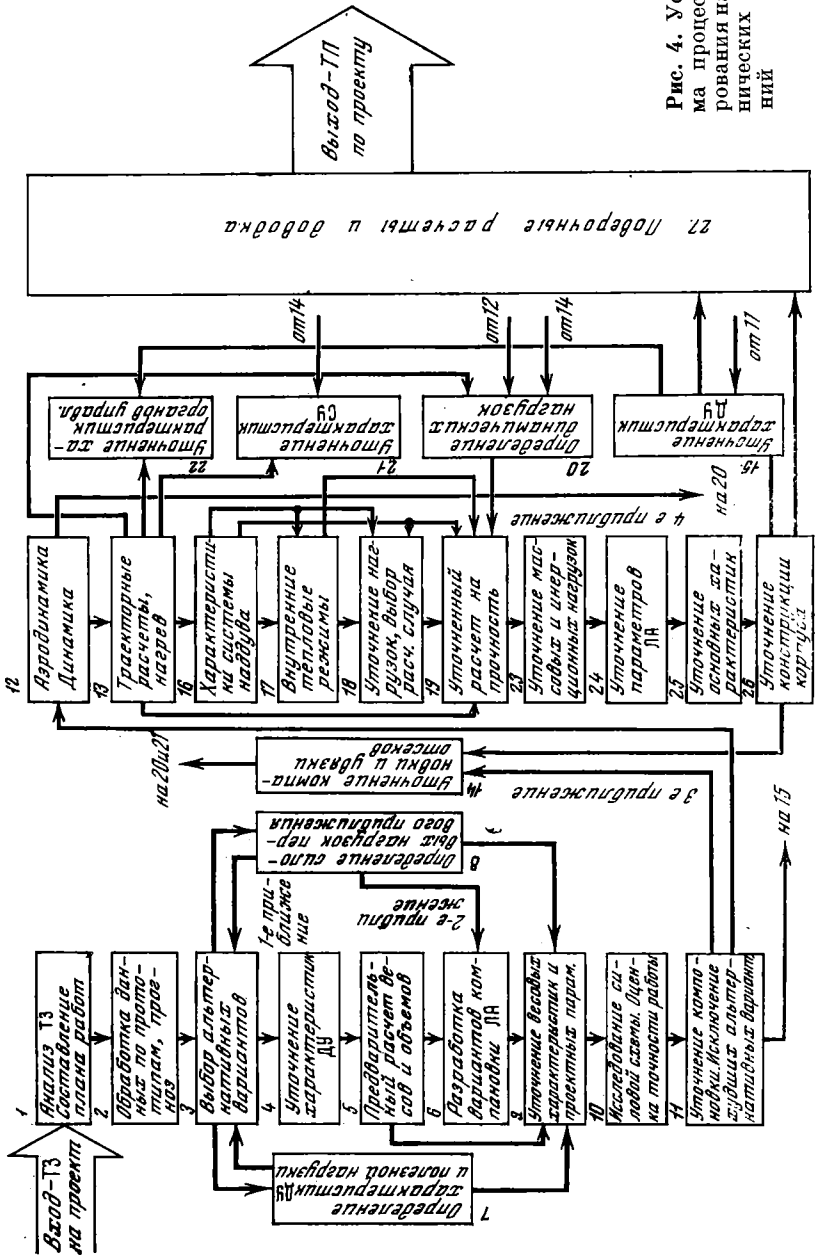


Рис. 4. Условная схема процесса проектирования на стадии технических предложений

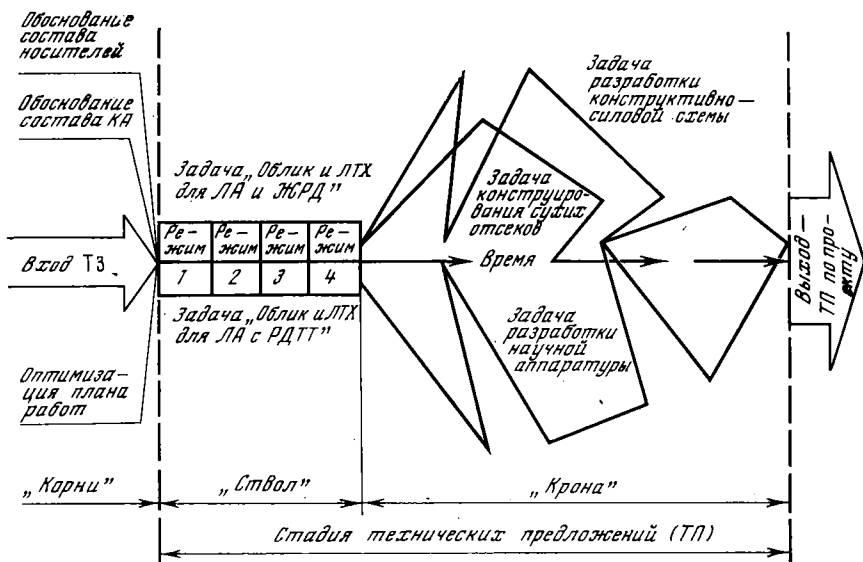


Рис. 5. Дерево задач САПР

готов и проверочные расчеты на функционирование. Операции 12—27 обеспечивают также несколько циклов приближения к лучшему решению. Анализ рассмотренной выше последовательности работ — в определенной мере типовой для КБ (см. [3] СМП CADE и CASE), позволяет установить следующие закономерности.

1. Итерационный процесс проектирования сочетает сугубо творческие задачи и сравнительно просто формализуемые: расчетные, по оформлению документов и др.;

2. Наиболее часто повторяются при разработке проекта на начальной фазе работ (1—II) задачи формирования «облика и ЛТХ» ЛА. Формализация этой операции позволяет сформировать как бы ствол задач графа работы КБ. Процесс проектирования от ствола — «облик и ЛТХ» — распадается на ряд подпроцессов, решаемых в отличие от задач (1—II) почти одновременно на всех уровнях подразделений КБ. В этом процессе сравнительно легко формализуются расчетные операции, сложнее — проектно-конструкторские. Однако операции проектно-конструкторской разработки отсеков и подсистем ЛА имеют определенную общность. На основе анализа традиционного процесса проектирования можно выделить два типа алгоритмов проектно-конструкторских работ в САПР: 1) облик и ЛТХ; 2) алгоритм проектно-конструкторской разработки отсеков и подсистем. На базе этих алгоритмов, по-видимому, целесообразно формировать алгоритм САПР. Тогда граф задач проектирования ЛА может быть трансформирован в древовидный алгоритм САПР (рис. 5). Здесь «ствол» дерева

образуют задачи алгоритма «облик и ЛТХ» ЛА; «корни» представлены функциональными задачами, обоснования состава носителей и оценки влияния на КЛА параметров СК, определения параметров КА, разработки оптимального плана работ над системой; «крона» образована ветвями алгоритма задач проектно-конструкторской разработки отсеков, агрегатов, узлов и деталей, а также проверочного расчета. На рис. 6 приведена структура одноуровневого алгоритма — («облик и ЛТХ» ЛА) и многоуровневого алгоритма проектно-конструкторских работ. В первом проектировании ведется главным образом на уровне ЛА, так как нет еще достаточной информации по конструкции отсеков, агрегатов и узлов. Здесь рационально выделить цепочку задач: «облик 1» — первое приближение, «параметризацию» — поиск лучших параметров управления, «оптимизацию» — выявление лучшего альтернативного варианта и «облик и ЛТХ» — уточнение характеристик лучшего варианта. Для алгоритма проектно-конструкторской разработки характерно последовательно-параллельное с циклическими (обратными) связями, почти одновременное исследование подсистем ЛА разных уровней: отсека, агрегатов, узлов и деталей. Это существенно усложняет организацию процесса автоматизации работ и особенно задачу формирования ППП.

Состав модулей «кирпичиков» здания САПР во многом зависит от способов ведения «строительства» — формирования программ и управления процессом расчетов. Для решения задачи ввода и управления счетом используют главным образом диалог проектанта с ЭВМ на основе многосвязного графа предметной области. Естественно, модули графа, выполняющие одну и ту же задачу с разной степенью отображения, должны быть помечены. В алгоритме, построенном на основе анализа входа и выхода, организация программы осуществляется автоматически на основе логических операций. Выделенная цепочка модулей обеспечивает решение задачи. Система эффективна только при ограниченном числе модулей. При значительном числе модулей (ППП) — а их в разветвленных САПР будет несколько тысяч — строят дерево модулей ППП САПР, из которого по вызову пользователя выбирают нужные для автоматического формирования управляющей программы. Естественно, возможна и другая логика процесса организации динамической загрузкой модулей и формирования управляющих программ, в частности в ряде случаев рационально использование систем ОКА. Заметим, что система формирования управляющих программ должна обеспечивать отслеживание течения процесса счета и давать возможность проектанту влиять на ход процесса решения.

Обобщение. Вместо выводов подчеркнем наиболее существенные положения, высказанные выше. В статье дано определение САПР как организационно-технической системы, показана структура и названы конкретные связи, определены возможные

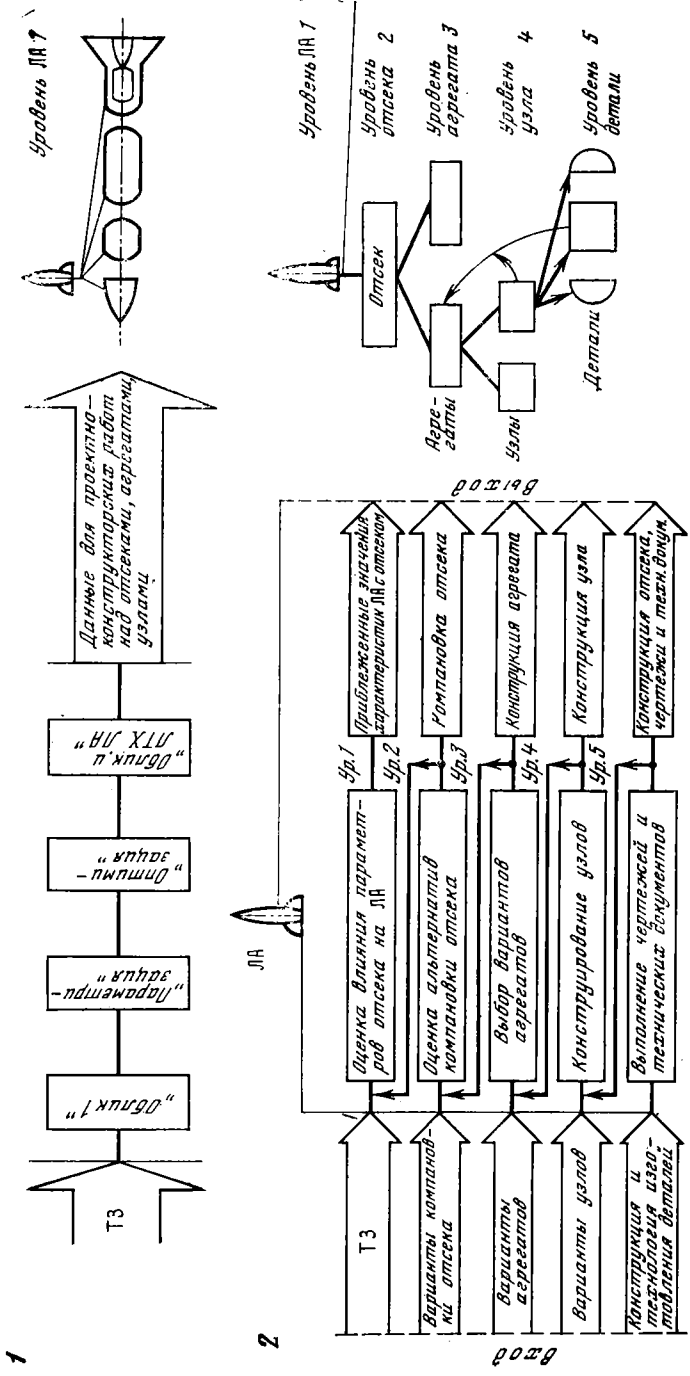


Рис. 6. Структура типовых алгоритмов

1 — «Облик и ЛТХ» с одноуровневым преобразованием информации; 2 — преректирование конструкции ступени с одноуровневым многоуровневым преобразованием информации

пути декомпозиции задач и формирования моделей. Сформулированы правила выбора критериев и выделения моделей. Вводится понятие «двухуровневая типовая модель», расширяющее практические возможности синтеза систем, естественно, при учете прямых функциональных связей. Названы общие (диалектические и системные) и конкретные принципы формирования САПР. Особо подчеркивается значение принципа эрготичности — приоритета проектанта над ЭВМ, декомпозируемости — свободного пополнения, комплексности задач, многоразового и многорежимного использования технических средств, программного и информационного обеспечения. Изложен один из вариантов решения задачи оптимального проектирования КЛА, как подсистемы РК, путем сведения к однокритериальной квазидинамической, детерминированной с реализацией принципа членения и итерационного поиска на основе расчлененного и обобщенного исследований. Показано, что задачи оптимизации КЛА и РН целесообразно решать путем исследования декомпозиционной целевой функции. На основании анализа возможных подходов, учитывая трудоемкость программного обеспечения, сделан вывод о необходимости стандартизации методов и моделей решения задач оптимального проектирования и строгого отбора действительно рациональных. На основе анализа графо-проектных работ предложена древовидная структура САПР. Выявлены два направления организации алгоритмов: 1) типа «Облик и ЛТХ» ЛА и 2) типа «конструкция отсека». Рассмотрена структура таких алгоритмов. Показана перспективность работ в направлении формирования многорежимных алгоритмов САПР. В связи с последним заметим, что в настоящее время определился отказ от длинных программ и переход на многорежимные, кусочно-набранные, с активным участием человека в процессе работ в целях принятия компромиссных решений, учета неопределенностей и ограничений. Сейчас понятию оптимизации в САПР придается в большой мере смысл выбора лучшего решения. Определился переход от классических задач многопараметрической оптимизации к многорежимному исследованию, построенному на основе декомпозиционных целевых функций с учетом операций графа традиционных проектных работ. Одновременно возрос интерес к задачам выбора параметров управления (проектных параметров) по условным экстремумам при ограниченном числе аргументов, дающим простые аналитические решения. Назрела необходимость формирования моделей, более полно отражающих не только стоимость и эффективность, но и трудоемкость и производительность. Возникли соображения о целесообразности использования на отдельных участках проектных работ статистических (стохастических) моделей. Представляются своевременными и чрезвычайно важными задачи: 1) по оценке эффективности САПР и организации работ; 2) по формализации логики проектанта в процессе конструирования агрегатов изделий. Назрела необ-

ходимость в активизации координации работ над пакетами ППП КБ, НИИ, вузов.

Отметим, что формирование не только ППП, но и информационной системы, а также внедрение периферийных устройств — АРМ, графопостроителей и др., — требуют чрезвычайно больших усилий, средств и времени.

Приведенные выше методологические принципы и соображения, по-видимому, в определенной мере могут повысить эффективность наших усилий при формировании организационно-технических систем типа САПР и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мишин В. П., Осин М. И.* Введение в машинное проектирование. М.: Машиностроение, 1978.
2. *Щеверов Д. Н.* Проектирование беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1978.
3. Авиастроение. М.: ВИНТИ, 1976. Т. 3.

*

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СБОРКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В КОСМОСЕ

И. Т. БЕЛЯКОВ, Ю. Д. БОРИСОВ

Реальное развитие освоения околоземного космического пространства в совокупности с освоением планет Солнечной системы требует от космонавтов выполнения разнообразных технологических операций, связанных с монтажом космических станций, строительством специальных сооружений вокруг околоземного пространства, на Луне и других планетах, с обслуживанием орбитальных и межпланетных кораблей в полете и других космических объектов.

Одновременно уникальные свойства космического пространства создают предпосылки к организации производственно-технических комплексов в космосе.

Таким образом, выявляются следующие основные виды деятельности человека в космическом пространстве:

1. Управление космическими аппаратами.
2. Проведение научных исследований.
3. Техническое обслуживание космических аппаратов, включая ремонт.
4. Сборка, монтаж и строительство космических объектов.
5. Производственная деятельность.

Как известно, первый полет человека в космос занял 108 мин. Экипажи современных орбитальных станций уже сейчас проводят в космосе по нескольку месяцев. На полеты к ближайшим планетам Солнечной системы потребуются годы. При таких сроках очень трудно обеспечить надежную и длительную работу многочисленных систем космического корабля или станции. Возрастает вероятность выхода из строя отдельных блоков, могут нарушить свою работу разные системы и подсистемы. В таких случаях необходимо восстановить работоспособность системы или прибора, заменить их в полете на запасные или отремонтировать. Есть третий путь повышения надежности — это дублирование системы. Однако этот путь связан с резким возрастанием массы системы и летательного аппарата в целом.

Для длительных пилотируемых полетов обслуживаемые системы предпочтительнее, так как они дешевле и надежнее, чем необслуживаемые. Кроме того, возможность ремонта системы, кроме технического, имеет еще и психологическое значение, вселяя в экипаж веру в свои силы и в успешное завершение полета.

Необходимость технического обслуживания и ремонта космических объектов в процессе полета непосредственно вытекает из опыта их эксплуатации, а проведение таких работ является

новым направлением в области эффективного использования космических объектов.

Возможны три варианта технической эксплуатации объектов: 1) выведение на орбиту без возвращения на Землю; 2) выведение и возвращение на Землю для ремонта и повторного использования; 3) выведение и периодическое обслуживание и ремонт в орбитальном полете.

В ряде случаев с экономической точки зрения более целесообразно в ходе эксплуатации производить техническое обслуживание объектов на орбите, а не возвращать их на землю для ремонта и повторного использования.

Техническое обслуживание снаружи объектов может выполняться с помощью специального вспомогательного модуля или непосредственно космонавтами с выходом в открытый космос.

Анализ показывает, что требования постоянного повышения эффективности и минимизации экономических затрат на эксплуатацию космических объектов определяют необходимость проведения профилактических и ремонтных работ.

Техническое обслуживание и ремонт относятся к таким работам, выполнение которых практически невозможно полностью обеспечить автоматическими средствами. Поэтому выполнение подобных работ включается в функциональные обязанности экипажа, в связи с чем значительно возрастает его роль в обеспечении нормального функционирования объектов.

Для обеспечения технического обслуживания и ремонта систем и агрегатов необходимо создание в составе объектов развитой и технически обеспеченной бортовой системы профилактики и ремонта, до настоящего времени не входившей в состав объектов.

При разработке такого рода системы должны решаться следующие задачи: организация и планирование работ; разработка и реализация специальной технологии; инструментальное обеспечение профилактических и ремонтных работ; специальная подготовка экипажа; экспериментальная отработка технологии и методики ведения работ.

В процессе технической эксплуатации объектов экипажем выполняются следующие два вида работ: техническое обслуживание, восстановительный ремонт.

Такая организационно-техническая система предусматривает три категории работ: штатные, аварийно-ремонтные и экспериментальные.

Следует обратить внимание на опережающее развитие экспериментально-исследовательских работ, в результате выполнения которых пополняются категории штатных и аварийно-ремонтных работ. Такой подход способствует повышению инженерно-технического уровня обслуживания, а также уменьшению веса запасных частей и доставляемых грузов.

Основным методом штатных работ является замена блоков,

агрегатов и узлов с выполнением монтажных и демонтажных операций внутри и вне объектов.

В качестве аварийно-ремонтных работ может быть произведена замена деталей в блоках, а также выполнены операции механической обработки, пайки, сварки и резки, отработанные применительно к реальным условиям.

Создание оборудования, технологии и методики профилактических и ремонтных работ вызывает необходимость отработки их в условиях, приближенных к реальным, а именно на летающих лабораториях, в условиях имитации комбинированного воздействия факторов на вакуумных стендах, устанавливаемых на борту летающей лаборатории, а также в условиях гидроневесомости, что особенно существенно для тренировок экипажей.

Развитию системы профилактики и ремонта должно быть уделено такое же внимание, как и другим системам, обеспечивающим нормальное функционирование объектов комплекса.

По назначению технические работы можно классифицировать как работы по сохранению, возобновлению, реконструкции и ликвидации изделий. Работы по сохранению проводятся в целях поддержания заданного уровня надежности и долговечности и носят профилактико-предупредительный характер. Работы по возобновлению связаны с восстановлением характеристик надежности и долговечности изделий. Работы по реконструкции имеют целью устранение морального износа путем модернизации или замены агрегатов. Работы по ликвидации изделий (частичной или полной) заключаются в демонтаже ценного оборудования в случае, если дальнейшая эксплуатация и возвращение на Землю по техническим или экономическим причинам нецелесообразны.

В зависимости от характера и сложности операций, необходимого технологического оборудования и рода экипажа могут быть установлены следующие ступени обслуживания: автоматическое устранение неисправностей; простые регулировки, ручное переключение на резерв, ручные операции по обслуживанию; замена отказавшего блока запасным (с применением инструментов и использованием ремонтной документации); ремонт отказавшего блока на специализированном рабочем месте с технологическим оборудованием и инструментом; замена механически закрепленных деталей в блоке с частичной его разборкой; замена деталей с неразъемными соединениями, а также перепайка элементов, подготовка, механическая обработка, сварка, восстановление покрытий.

Особенности обслуживания и ремонта находятся в зависимости от принципов функционирования систем, подсистем и агрегатов летательного аппарата. На этой основе оборудование, подлежащее обслуживанию и ремонту, подразделяется на следующие группы: блочная аппаратура; механическое оборудование; электромеханическое оборудование; радиоэлектронные и электросистемы; корпус и металлоконструкция.

Анализ объектов ремонта и обслуживания позволяет выявить номенклатуру технологических процессов. Такими технологическими операциями являются: подналадка и регулировка; очистка, промывка, смазка и заправка; крепежно-контрольные операции; монтажно-демонтажные операции; работа по сборке и разборке; транспортная обработка грузов; склеивание; уплотнение герметиками; пайка; контрольно-измерительные операции и поиск неисправностей; механическая обработка (сверление, зачистка, резка, гибка, рихтовка); сварка и резка; восстановление покрытий напылением.

Характер и содержание технологических операций обслуживания и ремонта обуславливают необходимость оснащения экипажа средствами выполнения этих работ — инструментами и приспособлениями, специально рассчитанными на специфику выполнения трудовых действий в условиях космического полета с учетом как технического, технико-организационного, так и эргономического аспекта.

На основании как теоретических исследований, так и экспериментально-испытательных работ, а также по результатам эксплуатации в натуральных условиях нами был сформулирован комплекс требований к проектированию специальных инструментов.

На основе эргономического аспекта могут быть сформулированы следующие требования:

1. Принципиальная схема конструкции инструмента должна обеспечивать возможность удобной его компоновки с учетом эргономики и эстетики.

2. В слесарно-сборочных операциях необходимо стремиться использовать режущие инструменты (такие, как сверло, фреза и т. д.) с самоподачей или самоприжимом инструмента. При этом не требуется приложения больших энергозатрат со стороны космонавта.

3. Крепежные элементы (винты, болты, гайки) и инструмент должны представлять собой единую, взаимосвязанную, легко сопрягаемую систему «винт—инструмент» с жестким механическим соединением между собой. Соосность крепежных элементов и инструмента должна быть обеспечена конструктивно, без приложения со стороны космонавта усилий и без необходимости контроля.

4. В процессе выполнения операции инструмент должен требовать приложения усилия со стороны оператора только одного профиля, например крутящего момента либо осевого усилия.

5. Переходы сборочной операции, такие, как установка инструмента, отворачивание, наживление, снятие инструмента и др. должны быть просты, содержать минимальное количество рабочих движений и при необходимости выполняться одной рукой.

6. Необходимо стремиться к максимальной механизации труда космонавта, отдавая предпочтение механизированным инструментам по сравнению с ручными, немеханизированными.

Учитывая технический аспект, можно назвать еще ряд требований.

1. Избегать применения механизмов с возвратно-поступательным движением. Необходимо по возможности заменять их менее энергоемкими механизмами с вращательным движением, так как реакция на крутящий момент нейтрализуется легче, чем реакция на возвратно-поступательное движение.

2. Реактивное воздействие на руку исполнителя-космонавта должно отсутствовать или быть минимальным. Необходимо использовать замкнутую систему сил, включающую главное рабочее усилие и реакцию на него.

3. Стремиться к минимизации веса и энергопотребления. Предпочтительный вид энергии—электрическая.

4. Конструкция должна обладать высокой надежностью в работе, достаточным ресурсом, устойчивостью эксплуатационного характера, ремонтнопригодностью, простотой обслуживания.

5. Конструкция инструмента должна обеспечивать минимальное количество регулировок в процессе работы; необходимо предусматривать легко- и быстросъемность насадок и исключить возможность их неправильной установки.

6. Необходимо обеспечить рациональное конструктивно-технологическое членение конструкции по модулям, которое позволяет вести параллельное испытание модулей и в случае необходимости осуществить их замену в процессе модернизации модулей, а также в процессе эксплуатации (например, привод, рукоятки, насадки).

7. Необходимо обеспечивать максимальную степень универсальности инструмента и его модулей, а также крепежных элементов в конструкции космического корабля и всего технологического оборудования.

Рассмотренные положения не следует считать окончательными. Они подлежат доработке, корректировке, а, возможно, некоторые из них будут в дальнейшем отброшены.

Учитывая необходимость полной безопасности работ, можно сформулировать ряд требований, исходя из технико-организационного аспекта:

1) необходимо оснащать инструменты механической и электрической блокировкой, предотвращающей несанкционированные выключения или включения механизмов,

2) инструмент должен обеспечивать удержание крепежа до и после окончания операции для исключения его свободного дрейфа в невесомости;

3) обрабатывающие инструменты (особенно при их использовании внутри космического корабля) должны быть снабжены высоконадежными стружкоулавливающими устройствами;

4) необходимо предусматривать наличие средств фиксации инструмента на руке, на одежде исполнителя и на рабочем месте.

5) конструкция системы должна быть жесткой, ибо вибра-

ции и даже упругие деформации в пределах допусков затрудняют его удержание, что может привести к потере инструмента, а это в свою очередь может вызвать нежелательное чувство опасения у космонавта.

Анализируя круг задач, стоящих перед космической технологией, необходимо сделать вывод о том, что конструкция космического объекта, возможно, и оборудование для экспериментов) должна быть увязана с технологией ее обслуживания и ремонта, т. е. должна быть ремонтпригодна. Более общий вывод — конструкция должна быть технологичной.

Реализация этого положения в первую очередь предполагает унификацию и согласование крепежа (при условии обеспечения механической сборки) и инструмента (ручного и механизированного). Это будет иметь также немаловажное значение и при возможных действиях по оказанию взаимной интернациональной помощи в космосе. Необходимо отметить, что конструкция космического объекта должна обеспечивать удобство выполнения операций обслуживания и ремонта практически всех его узлов и агрегатов, создавать доступ космонавту ко всем жизненно важным местам корабля, к аппаратуре и агрегатам, вероятность выхода из строя которых имеется. По мере увеличения срока эксплуатации космических объектов на орбите и их количества возникает необходимость в создании специализированных «ремонтных космических кораблей», а также «космических кораблей-сборщиков». Только создание «ремонтного космического корабля», укомплектованного всем необходимым оборудованием и инструментами, средствами фиксации, рабочими местами и т. д., позволит решить весь комплекс задач по обслуживанию и ремонту космических объектов.

✱

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Н. М. РУДНЫЙ, С. А. ГОЗУЛОВ, И. Д. ПЕСТОВ,
А. В. ЕРЕМИН

Летающий в космическом пространстве пилотируемый корабль — это крохотный островок жизни в безжизненной среде. Его появление стало возможным благодаря успешному решению не только технических, но и медико-биологических проблем, связанных с жизнью и деятельностью человека в необычных условиях космического полета. Круг этих проблем достаточно широк и разнообразен. Он включает много частных проблем: космической биологии, физиологии, гигиены, психологии, биомеханики и др. Частные проблемы входят в состав комплексных медицинских проблем, которые подчинены различному целевому назначению (проблемы медицинской экспертизы, отбора и подготовки экипажа, обеспечения жизнедеятельности, медицинского контроля, профилактики нарушений, лечения, реабилитации и др.). На стыке со смежными областями науки и техники рождаются проблемы медицинского сопровождения разработок, эргономики, инженерной психологии, нормирования параметров среды обитания и условий деятельности, прогнозирования изменений со стороны организма и среды, управления и многие другие. И наконец, с позиций системного подхода следует выделить одну общую проблему, характерную для космонавтики в целом и для всех видов научно-практической деятельности, которые она объединяет: обеспечение безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов. Вклад космической биологии и медицины в решение этой общей проблемы и является предметом нашего рассмотрения.

Наиболее очевидно, что безопасность и эффективность пилотируемого космического полета определяются надежностью человеко-машинной системы в целом и каждого из ее составных элементов — человека и космического корабля — в отдельности. Однако надежность человеко-машинной системы в существенной мере зависит также и от того, является ли она управляемой. Это дает основание включить управление в число важнейших элементов, ответственных за безопасность и эффективность пилотируемого космического полета. Итак, человек — космический корабль — управление. В чем суть медико-биологических проблем повышения надежности каждого из этих составных элементов безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов?

Человек стоит в центре профессиональных забот космической медицины. Главная задача медицинского обеспечения полетов состоит в сохранении здоровья, хорошего самочувствия и высокой работоспособности космонавтов. Решая эту задачу, космическая медицина способна внести свой вклад в повышение безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов. Какие же трудности ей приходится при этом преодолевать, какие решать проблемы?

Основная проблема связана с биологической природой самого человека, с тем, что, будучи продуктом длительного эволюционного развития, он приспособлен к жизни и работе в наземных условиях, нуждается в жизненных благах, характерных для наземной среды обитания. Вместе с тем человеку присуща способность приспособляться к достаточно суровым условиям и довольно широким изменениям внешней среды (адаптивность), повышать устойчивость к постепенно возрастающим нагрузкам (тренируемость), утрачивать свойства, качества и функции, необходимость в которых не поддерживается условиями жизнедеятельности (атрофия, редуцирование, экономизация), а также замещать утраченные или недостаточные функции (компенсация, резервирование). Совокупность этих свойств человеческого организма определила как необходимость обеспечения в космическом полете его основных, жизненно важных потребностей, так и возможность пренебречь удовлетворением некоторых второстепенных, нежизненно важных потребностей в надежде на приспособительные свойства организма. В итоге наряду с признанием несомненных успехов в разработке систем обеспечения жизнедеятельности необходимо также учитывать, что искусственная среда обитания космических кораблей является далеко не полным эквивалентом наземных условий. Если же принять во внимание невесомость, то эта среда должна рассматриваться как принципиально отличная от наземных условий. Итак, человек в космическом полете лишен действия земной силы тяжести и ограничен в некоторых нежизненно важных потребностях. Его организм вынужден приспособляться к этим лишениям, в том числе и ценой утраты некоторых из своих свойств и качеств. Детренированность, атрофия «от бездействия», замещение утраченных функций, астенизация, снижение устойчивости к стрессовым воздействиям, к заболеваниям — вот самый общий перечень последствий этого приспособления.

Важнейшая с точки зрения обеспечения безопасности и эффективности полета и сугубо специфичная для космонавтики медицинская проблема состоит в удержании выведенного из равновесия состояния организма в допустимых пределах. Необходимо знание дальнейших тенденций в развитии выявленных изменений, выяснение их механизмов, обратимости путей и методов снижения неблагоприятного воздействия факторов космического полета на организм человека. По существу речь идет о том, чтобы найти ответ на вопрос: сколько времени и при каких допустимых усло-

виях человек может летать в космосе, сохраняя здоровье и работоспособность? От этого ответа фактически зависят перспективы развития пилотируемых летательных аппаратов. Очевидно, что перед планированием очередного увеличения продолжительности космического полета необходимо создать условия, обеспечивающие безопасность экипажа. При формировании такого рода прогнозов космическая медицина исходит из материалов лабораторных исследований с имитацией невесомости и результатов последовательного увеличения продолжительности реальных полетов. Опыт показывает, что медицинские прогнозы и вытекающие из них практические рекомендации по оснащению космических кораблей и управлению полетом на всех этапах развития космонавтики были достаточны, чтобы обеспечивать сохранение здоровья и работоспособности космонавтов в полете и послеполетном периоде.

Состояние космонавтов в полете может меняться под воздействием не только физических факторов, но и условий обитания, а также режима профессиональной деятельности. Человек вправе рассчитывать на удовлетворение в полете своих достаточно разнообразных потребностей, обусловленных его биологической и социальной природой. Помимо естественной потребности в полноценном отдыхе, сне, восстановлении моральных и физических сил, человек нуждается в определенном уровне комфорта, в смене впечатлений, в возможности удовлетворять свои интеллектуальные потребности, проявлять творчество, общаться с ближними. В конечном счете это формирует его настроение, тонус, работоспособность. Поскольку, однако, возможности удовлетворения этих потребностей в полете все-таки ограничены, при определенных условиях и в особенности при длительных полетах или повышенной рабочей нагрузке создаются дополнительные предпосылки к возникновению изменений со стороны здоровья и работоспособности космонавтов. Учитывая, что высокоэффективное участие человека в реализации задач космического полета обеспечивается мобилизацией его физических, интеллектуальных и эмоциональных сил, истощение или ослабление внутренних резервов под воздействием факторов полета или условий обитания может приводить к снижению надежности человека как элемента общей системы. Нестабильность свойств человеческого организма в космическом полете является причиной нестабильности характеристик человеко-машинной системы в целом и, следовательно, предпосылкой к снижению безопасности и эффективности пилотируемого полета. Основной путь преодоления трудностей, связанных с воздействием на организм физических и социальных факторов полета, состоит в разработке медицинских требований, нормативов и рекомендаций, адресованных к экипажу, космическому кораблю и системе управления полетом.

Поскольку повысить надежность человека в полете фундаментальным изменением его биологической и социальной природы

нельзя, это частично достигается мерами целенаправленного отбора, подготовки экипажа, предъявлением к нему ряда специфических требований. В исходном состоянии экипаж должен быть физически здоров, психологически устойчив, позитивно настроен, а также активно заинтересован в выполнении программы полета. Космонавты, входящие в состав экипажа, должны отвечать требованиям психологической совместимости, обладать знаниями и навыками в области оказания медицинской помощи, в осуществлении само- и взаимоконтроля, в выполнении запланированных профилактических мероприятий. Они должны эффективно взаимодействовать с группой управления полетом в решении задач медицинского контроля, медико-биологических исследований и в реализации медицинских рекомендаций. Применительно к полетам большой длительности система отбора и подготовки космонавтов, вероятно, должна быть дополнена специфическими элементами, подобно тому как подготовка марафонцев отличается от подготовки спринтеров. Экипаж должен не только умело переносить тяготы одиночества и лишений, рассчитывать свои силы «на дистанции», не допускать накопления утомления, но и находить выход из разнообразных «нештатных» ситуаций. Одна из таких ситуаций — заболевание. Хотя уже в предполетный период методами отбора, санации, карантинными ограничениями делаются попытки исключить заболевания, угроза их возникновения в полете остается, а пропорционально его длительности и численному составу экипажа возрастает. Не подготовленные в медицинском отношении лица рискуют впасть при этом в растерянность, что еще более усугубит положение. Возможности же оказания медицинской помощи на расстоянии ограничены тем, что врач не может надлежащим образом обследовать больного, обеспечить медицинский уход, выполнить те или иные лечебные процедуры. В его распоряжении оказываются только устные сообщения экипажа, некоторые электрофизиологические показатели да возможность рекомендовать использование медицинских средств бортовой аптечки. Вот почему надежность человека в длительном полете могла бы быть существенно увеличена включением врача в состав экипажа. Помимо проведения лечебно-профилактической работы, бортовой врач способствовал бы решению перспективных вопросов медицинского обеспечения полетов путем выполнения медико-биологических исследований, требующих специальной подготовки и квалификации. Таким образом, хорошо отобранный, подготовленный и укомплектованный экипаж может быть не только объектом воздействий, применяемых в целях обеспечения безопасности и эффективности пилотируемого космического полета, но и важным средством достижения этой цели.

Космический корабль олицетворяет собой для экипажа среду обитания, источник всех жизненных благ и объект профессиональной деятельности. От того, в какой мере он способен удовлетворить достаточно разнообразные физиологические, гигиенические, ин-

теллеktуальные, профессиональные, социально-психологические потребности космонавтов, в значительной степени зависят их самочувствие и настроение, здоровье и работоспособность. Хотя в основу инженерных подходов к формированию искусственной среды обитания космических кораблей заложены медицинские требования и нормативы, эта среда существенно отличается от наземной ограниченностью жизненного пространства, бытовых удобств, свободы поведения, впечатлений, развлечений, социальных контактов. Физические свойства среды кондиционируются по своим главным показателям (барометрическое давление, содержание кислорода, углекислоты, влажность, температура), но в деталях могут иметь отличия от условий, с которыми человек сталкивается на Земле (суточные и сезонные колебания параметров микроклимата, ионный состав атмосферы, напряженность магнитных полей, наличие в атмосфере взвешенных пылевых частиц, малых концентраций химических примесей). Системы питания, водообеспечения, санитарно-бытовые и гигиенические устройства по своим характеристикам обеспечивают самые необходимые для жизнедеятельности экипажа условия, однако не во всех отношениях эти условия могут быть признаны комфортными.

Причины того, почему при оценке искусственной среды обитания космических кораблей нельзя отметить полного совпадения между желаемым и допустимым, в достаточной степени ясны. Присущие космической технике на нынешнем уровне ее развития ограничения по объемным и весовым характеристикам не позволяют решить сразу все проблемы и вынуждают соглашаться на временный компромисс. Поскольку, однако, подобные компромиссы достигаются все-таки за счет ограничения потребностей человека, в перспективе они должны разрешаться путем принятия соответствующих технических решений.

Не вполне ясно, относится ли последнее замечание и к необходимости воспроизводить в космическом полете эквивалент земной силы тяжести. Выше упоминалось уже о том, что невесомость выводит организм человека из равновесного состояния и служит причиной развития ряда неблагоприятных изменений. Из этого однозначно вытекает, что космический корабль, в особенности рассчитанный на длительные пилотируемые полеты, должен иметь в своем составе оборудование, позволяющее контролировать степень функциональных сдвигов, обусловленных невесомостью, и корректировать их с помощью лечебно-профилактических средств, т. е. обеспечивать управление состоянием экипажа. Однако до настоящего времени еще не получено обоснований в пользу наиболее радикального решения, а именно введения искусственной гравитации. Более того, существуют опасения, что пребывание экипажа в постоянно вращающейся системе приведет к развитию нежелательных вестибулярных реакций. Поэтому на основе выработанной в процессе многочисленных лабораторных исследований концепции орбитальные пилотируемые станции осна-

щаются в настоящее время комплексом средств, позволяющих не прибегать к искусственной гравитации. Использование этих средств помогает восполнять действие недостающих в полете физических факторов (весовой нагрузки на костно-мышечную систему, внутрисосудистого гидростатического давления крови) и тем самым предупреждать развитие детренированности и других связанных с этим изменений. В состав лечебно-профилактических средств пилотируемого космического корабля, разумеется, входит и медицинская укладка (бортовая аптечка), оснащенная лекарственными препаратами, перевязочными средствами и некоторыми медицинскими инструментами.

Для обеспечения медицинского контроля и проведения медико-биологических исследований космические корабли и орбитальные станции оснащаются аппаратурой и оборудованием, медицинская информация от которых либо передается на Землю по телеметрии, либо анализируется самим экипажем и потом сообщается по радио, либо накапливается на борту в виде нерасшифрованных записей, законсервированных субстратов и доставляется на Землю экипажем для последующей обработки и анализа. Совокупность этих сведений составляет важный элемент обеспечения безопасности как текущего, так и последующих полетов, поскольку по мере углубления, детализации, повышения достоверности медицинской информации все более точными становятся медицинские прогнозы и рекомендации, направленные на решение вопросов безопасности и эффективности.

Медицинские оценки надежности космического корабля как элемента безопасности и эффективности полета не исчерпываются кругом рассмотренных проблем. Они включают, в частности, и анализ условий профессиональной деятельности экипажа на основе критериев инженерной психологии и эргономики. Однако и того, что было сказано, достаточно для вывода о существовании обширной области приложения медицинских наук к разработке и совершенствованию пилотируемых космических летательных аппаратов, их систем и оборудования и о высокой продуктивности этого направления работ.

Управление пилотируемым космическим кораблем представляет собой важнейший элемент обеспечения его безопасности и эффективности и включает широко развитую систему мероприятий по текущей оценке и корректировке состояния технических систем, экипажа и динамики полета. Важное место в системе этих общих мероприятий принадлежит мерам, направленным на решение основной задачи медицинского обеспечения полета, а именно на сохранение здоровья и работоспособности космонавтов. Способом решения этой основной задачи медицинского обеспечения космического полета является управление состоянием космонавтов. Поскольку наука об управлении в настоящее время сформировалась в специальную область знаний — кибернетику, целесообразно использовать ряд положений, развиваемых кибернетикой,

В анализе сущности и тенденций развития медико-биологических подходов к управлению состоянием космонавтов в полете.

Как неоднократно указывалось выше, функциональное состояние организма человека в космическом полете, особенно большой продолжительности, не остается постоянным, а изменяется под воздействием физических, а в ряде случаев и социальных факторов. Пребывание в необычных для наземного организма условиях обитания, жизни и деятельности (отсутствие тяжести, пребывание в замкнутом пространстве ограниченного объема, сенсорная депривация, сужение социальных контактов, изменения биоритма и др.), если пользоваться терминологией, принятой в литературе по кибернетике, эквивалентно потере или искажению чрезвычайно важной в биологическом и социальном отношениях управляющей информации, накоплению энтропии, снижению уровня организованности, упорядоченности системы. Чисто медицинским выражением этих общих понятий является развитие астенизации, снижение функциональных резервов организма космонавтов, понижение их устойчивости к стрессовым воздействиям, в том числе и к гравитационным нагрузкам. Совершенно очевидно, что объективной тенденции к снижению уровня организованности системы должна быть противопоставлена широко развитая программа целенаправленных управляющих воздействий, которая обеспечила бы поддержание системы в состоянии, по возможности близком к оптимальному. Космическая медицина решает эту важнейшую задачу на целом ряде направлений. Разрабатываются или обосновываются медицинские, физиолого-гигиенические, психофизиологические, инженерно-психологические нормативы и рекомендации, рассчитанные на оптимизацию условий жизни и деятельности космонавтов в полете. Проводятся обширные исследования по текущей оценке и прогнозированию реакций человека и других биологических объектов на воздействие факторов космического полета. Эта информация используется для разработки комплекса средств и методов профилактики неблагоприятного воздействия факторов полета, для оказания медицинской помощи космонавтам и восстановления их сил и общего состояния в послеполетный период. Важным элементом поддержания работоспособности и сохранения здоровья космонавтов в полете является также комплекс мер по медицинскому отбору, комплектованию экипажей, медицинской и психологической подготовке космонавтов, регламентации режима труда и отдыха, обеспечению психологической поддержки.

Таким образом, управление состоянием космонавтов в полете является составной и наиболее важной частью его медицинского обеспечения. Оно базируется на заблаговременно сформированной программе лечебно-профилактических, санитарно-гигиенических мероприятий и нормативов; на осуществлении текущей оценки состояния экипажа и среды обитания и выработке прогноза о дальнейших тенденциях изменений управляемого объекта; на выра-

ботке, передаче и последующей реализации тех или иных медицинских указаний и рекомендаций в полете; на методических и технических возможностях реализации тех или иных мер и рекомендаций с помощью средств, заложенных в конструкцию космического летательного аппарата.

Структурно система управления состоянием космонавта в условиях полета имеет много общего с замкнутыми (основанными на обратной связи) и разомкнутыми (основанными на реализации заложенной программы) системами управления техническими объектами. Однако в качестве объекта управления человек настолько отличается от любой, даже самой сложной, машины, что это придает специфическую окраску всей системе управления. Наиболее существенное и принципиальное различие состоит в том, что свойства и поведение машины в необычных условиях космического полета предсказать и сформировать легче, чем свойства и поведение человека. Это вытекает из сопоставления частных характеристик машины и человека как объектов управления в космическом полете.

В отличие от машины, которая может быть заранее приспособлена к космическому полету, чьи свойства стандартны, стабильны, ресурс известен, а режим функционирования предписан, человек специально не приспособлен к полету, индивидуален, его свойства подвержены изменениям, ресурс неизвестен, а режим функционирования корректируется субъективно. Если контроль состояния машины возможен с любой желаемой степенью детализации в форме объективных данных, критериев, сопоставляемых с нормативами, то применительно к человеку контроль возможен лишь на уровне некоторых систем, функций и субъективных реакций. Оценка работоспособности, сопоставление с нормативами затруднены, развит самоконтроль. Реакция на управляющие воздействия у машины стереотипна, воспроизводима, соответствует расчету, в то время как у человека она может меняться под воздействием объективных (изменение реактивности) или субъективных (негативное отношение) причин.

С позиций кибернетики человек может рассматриваться как система, поведение которой определяется внутренними законами развития и внешними управляющими воздействиями. Последние реализуются природной или социальной средой с помощью управляющих сигналов (команд или других способов передачи управляющей информации). Обладая разумом, свободой воли, собственным жизненным опытом и целями, человек может проявлять незаинтересованность в том, чтобы быть объектом контроля или управления, может неоднозначно реагировать на внешние управляющие сигналы. И хотя система воспитания, обучения формирует у человека сознательность, исполнительность, дисциплинированность, реализация им управляющих сигналов (команд, указаний или рекомендаций) в управляющее воздействие (выполнение тренировок, прием лекарств и др.) может корректироваться собственной

точкой зрения, субъективными оценочными критериями или вообще замещаться механизмом самоуправления.

В силу этого обстоятельства и неизмеримо большей сложности человека как объекта управления по сравнению с машиной снижается надежность функционирования всех звеньев в цепи формирования, прохождения, реализации сигнала управления, а также не всегда ясна достоверность обратной информации о текущем состоянии управляемого объекта. Следовательно, управление состоянием человека в космическом полете, основанное на принципе замкнутого контура с обратной связью, не может быть признано универсальным и удовлетворяющим решению всех задач. В наибольшей степени оно уместно и эффективно при оказании лечебной помощи, т. е. в ситуации, особенно тесно объединяющей усилия и цели больного и врача. Однако распознавание и лечение заболеваний «на расстоянии», т. е. посредством дистанционного контакта больного и врача, затруднены в силу иных обстоятельств. Достаточно сказать, что диагностика осуществляется в условиях дефицита медицинской информации, а медицинская помощь ограничивается назначением в основном лекарственных препаратов бортовой аптечки. Практически невозможно реализовать приемы медицинского ухода за больным, а также процедуры, манипуляции, инструментальные вмешательства и психотерапевтические воздействия, которые требуют непосредственного контакта врача и больного и которые играют столь важную роль в лечебном процессе.

Широкое распространение в космической медицине получила система программного управления, основанная на регламентации режимов труда, отдыха, питания, физических упражнений и других профилактических воздействий. Достоинством этой системы является то, что заложенные в программу рекомендации предварительно апробированы на широком контингенте испытуемых в условиях, по возможности приближенных к космическому полету. Таким образом, программа управляющих воздействий основана на достаточно достоверных исходных данных и в какой-то мере удовлетворяет различным вариантам индивидуальных особенностей того или иного человека. С этой точки зрения она универсальна, пригодна в своей основе для каждого и может служить базой для определения состава, комплектности бортового медицинского оборудования, отправных элементов программы полета. Присущие программному управлению недостатки (отсутствие индивидуального подхода, возможность отклонений от программы в процессе реализации) восполняются оперативной оценкой обратной информации и внесением соответствующих коррективов в программу, поскольку набор средств позволяет варьировать ее в широких пределах.

Альтернативой концепции, которая рассматривает человека в полете в не очень привлекательной роли объекта контроля и управления со стороны наземных служб, может быть рассмот-

рена концепция самоуправления. Более того, как биологической системе организму человека присуща саморегуляция, приспособляемость, адаптивность, т. е. такие свойства, которые «автоматически» обеспечивают достижение равновесного состояния с меняющимися условиями внешней среды. За счет саморегуляции функциональное состояние организма в невесомости стабилизируется на уровне, соответствующем пониженным требованиям внешней среды. При этом теряются качества, необходимые для нормальной жизнедеятельности в наземных условиях, или, говоря другими словами, накапливается энтропия, снижается упорядоченность системы. Необходимы дополнительные меры, в данном случае профилактические воздействия, чтобы избежать этого. Но, возможно, сам человек способен нормировать для себя такие воздействия, способен понять, что для него в данный момент полезно, а что вредно. Если такое понимание основано не только на субъективных чувствах, внутренних убеждениях, а на глубоком знании теории вопроса и на практическом опыте, то концепция самоуправления может быть в принципе одобрена. Однако даже применительно к космонавту с широким медицинским и специальным образованием самоуправление состоянием будет всего лишь разновидностью самолечения, которое в серьезных случаях далеко не всегда себя оправдывает и в наземных условиях. Чаще всего оно оказывает лишь временный эффект, создает иллюзию выздоровления, которая служит поводом к прекращению лечения. Фактически же болезнь в условиях самолечения часто переходит в хроническую форму. Иначе говоря, субъективный контроль служит плохим советчиком, когда в лечебных или профилактических целях человеку приходится прибегать к некоторому насилью над самим собой. Конструктивным решением может быть включение врача в состав космического экипажа в качестве звена, тесно взаимодействующего с наземной медицинской службой в реализации задач управления состоянием членов экипажа в полете.

Уникальность условий космического полета, и в первую очередь воздействие на организм столь уникального фактора, каким является невесомость, нашла отражение еще в трудах К. Э. Циолковского и определила наиболее специфическую проблему космической медицины. Требуется уяснить механизм влияния невесомости и разработать мероприятия по борьбе с последствиями этого влияния.

Современная теория рассматривает все многообразие проявлений неблагоприятного влияния невесомости на организм человека как цепь тесно взаимосвязанных между собой перестроек в регуляции внутренней среды организма, которые возникают вслед за первичными или пусковыми реакциями на невесомость. Практически важное и вполне самостоятельное значение приобретают, в частности, следующие первичные реакции организма на невесомость: снятие весовой нагрузки на костно-мышечный аппарат, исключение необходимости в активном противодействии gravi-

тационными силам и вызывающее уменьшение мышечных усилий на поддержание позы, перемещение тела и отдельных его частей в пространстве; изменение в распределении биологических жидкостей (главным образом крови) в организме, связанное с отсутствием их веса и выпадением гидростатического компонента внутрисосудистого, а следовательно, и трансмурального давления; изменение в деятельности афферентных систем, обеспечивающих функцию пространственного анализа, координацию движений и регуляцию постоянства внутренней среды целостного организма.

С позиций управления функциональным состоянием организма в условиях невесомости наиболее перспективным является путь, основанный на блокировании этих первичных или пусковых реакций на невесомость. Естественным и практически легко осуществимым представлялось применение профилактических воздействий, в особенности на первые два типа пусковых реакций. Экспериментальные исследования, проведенные с этой целью в нашей стране, увенчались разработкой комплекса средств и методов, которые способствуют стабилизации состояния космонавтов на уровне, обеспечивающем сохранение их здоровья и работоспособности как в полете, так и в послеполетный период. В состав этих средств входят: тренажеры для физических упражнений, установки для воздействия отрицательного давления на нижнюю половину тела, нагрузочные костюмы постоянного ношения, водно-солевые добавки к рациону питания, послеполетные профилактические костюмы и др. При правильном применении такие средства снижают неблагоприятные последствия длительного пребывания человека в невесомости, а также облегчают реадaptацию организма к наземным условиям. Существует возможность и для индивидуализации профилактических (управляющих) воздействий посредством контроля за реакциями организма на функциональные пробы с дозированной физической нагрузкой или воздействием отрицательного давления на нижнюю половину тела. С помощью этих функциональных проб оценивается степень физической детренированности или ортостатической неустойчивости и уточняется режим соответствующих тренировок.

С невесомостью, как физическим фактором полета, влияющим на гомеостаз, связана также необходимость в проведении широкого круга других подготовительных, лечебно-профилактических, лечебно-восстановительных мероприятий, которые входят в настоящее время в арсенал средств, используемых космической медициной для управления состоянием космонавтов.

Еще одна сфера применения управляющих воздействий в космическом полете состоит в обеспечении бытового комфорта и удобств, контроле за поддержанием параметров микроклимата в пределах заданных нормативов, предоставлении экипажу достаточного времени для отдыха, сна, восстановления интеллектуальных и физических сил во время полета. Все это относится к числу весьма эффективных и на первый взгляд не очень сложных в ре-

ализации управляющих воздействий. Однако на практике успех от таких мероприятий достигается за счет далеко не простого компромисса между желаемым и допустимым. Естественно, например, желание получить от космонавтов максимальную отдачу в полете, но выполнение работ «любой ценой», даже в ущерб здоровью и самочувствию космонавтов, нельзя признать допустимым. Между тем «дух романтизма», присущий покорению космоса, в ряде случаев стимулирует у членов экипажа стремление к самоотверженности, к тому, чтобы отдать любимой работе все силы. И хотя чисто по-человечески это легко понять, опыт показывает, что работа с чрезмерной нагрузкой часто не является самым лучшим способом реализации программы полета, недостаточно рентабельна и небезопасна. Как правило, время, расходуемое космонавтами на проведение работ (контроль бортовых систем и их обслуживание, регламентные работы, наблюдения, исследования и эксперименты, ведение связи, телевизионные репортажи и др.), не должно превышать ресурс рабочего времени, предусмотренный трудовым законодательством для представителей наземных профессий. Это можно обосновать тем, что, во-первых, работа космонавта не легче, чем у специалистов на Земле, и, во-вторых, все операции по самообслуживанию (приготовление пищи, уборка помещений и наведение в них порядка, выполнение физических тренировок) — это по существу та же работа. В связи с этим довольно распространенной проблемой, требующей постоянного контроля со стороны управления и входящих в ее состав врачей, является обеспечение условий для отдыха и восстановления сил членов экипажа. Это достигается в первую очередь планированием, а также использованием комплекса бортовых средств активного отдыха (библиотека, блокнот для рисования, видеоманитофон, музыкальные записи, игры и др.) и радиообменом с Землей.

Граница между желаемым и допустимым и в других сферах рассматриваемой проблемы выглядит достаточно подвижной, часто она служит поводом для дискуссий. К примеру, на вопрос, необходима ли в длительном полете душевая установка или горячая вода для приготовления пищи, формально может не быть однозначного ответа. В принципе, можно обходиться без горячей воды и без душевой установки, хотя это и снижает уровень комфорта. Однако в настоящее время комфорт на космическом летательном аппарате следует рассматривать не как синоним роскоши, излишества, а как фактор работоспособности. В связи с этим совокупность мероприятий, направленных на удовлетворение потребностей, связанных с условиями обитания и режимом профессиональной деятельности, является немаловажным инструментом управления состоянием человека в полете.

Характерная черта развития космонавтики в последние годы состоит в увеличении длительности пилотируемых полетов. Однако еще со времен 18-суточного полета экипажа космического ко-

рабля «Союз-9» в 1970 г. стало ясно, что длительность — это не только техническая, но и медицинская проблема. Человек оказался более уязвимым звеном в пилотируемом полете, чем космический летательный аппарат. Ограничения, присущие человеку, стали ограничениями, характерными для человеко-машинной системы в целом, а последующие мероприятия по оснащению космических кораблей средствами медицинского контроля и профилактики широко раздвинули границы допустимой продолжительности пилотируемых полетов. Таким образом, мероприятия по управлению состоянием космонавтов в полете перерастают рамки чисто медицинской проблемы и с позиций системного подхода приобретают значение одного из ведущих факторов повышения безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов.

Подводя итог характеристике медико-биологических проблем обеспечения безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов, необходимо подчеркнуть, что сохранение здоровья и работоспособности космонавтов на всех этапах полета может быть обеспечено на основе комплексного подхода, который включает следующие условия: создание на борту космического летательного аппарата условий для нормальной жизнедеятельности и выполнения профессиональных функций, осуществления объективного медицинского контроля и проведения необходимых лечебно-профилактических мероприятий; проведение целенаправленных мер по отбору, медицинской и психологической подготовке и комплектованию экипажей с учетом конкретных условий и особенностей полета; реализацию медицинских требований к программе полета и организации его управления.

Недооценка любого из этих элементов комплексного подхода создает опасность ухудшения характеристик системы «человек — космический корабль» по критериям безопасности и эффективности. Это обстоятельство придает особое значение правильной организации медицинского обеспечения пилотируемых космических полетов, централизованному руководству всеми этапами их подготовки и проведения. С другой стороны, комплексный подход к обеспечению безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов не только способствует решению чисто медицинской проблемы сохранения здоровья и работоспособности космонавтов, но и приобретает экономическое значение, повышает рентабельность космических программ, расширяет их границы, вносит вклад в укрепление национального приоритета нашей страны в освоении космоса.

*

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

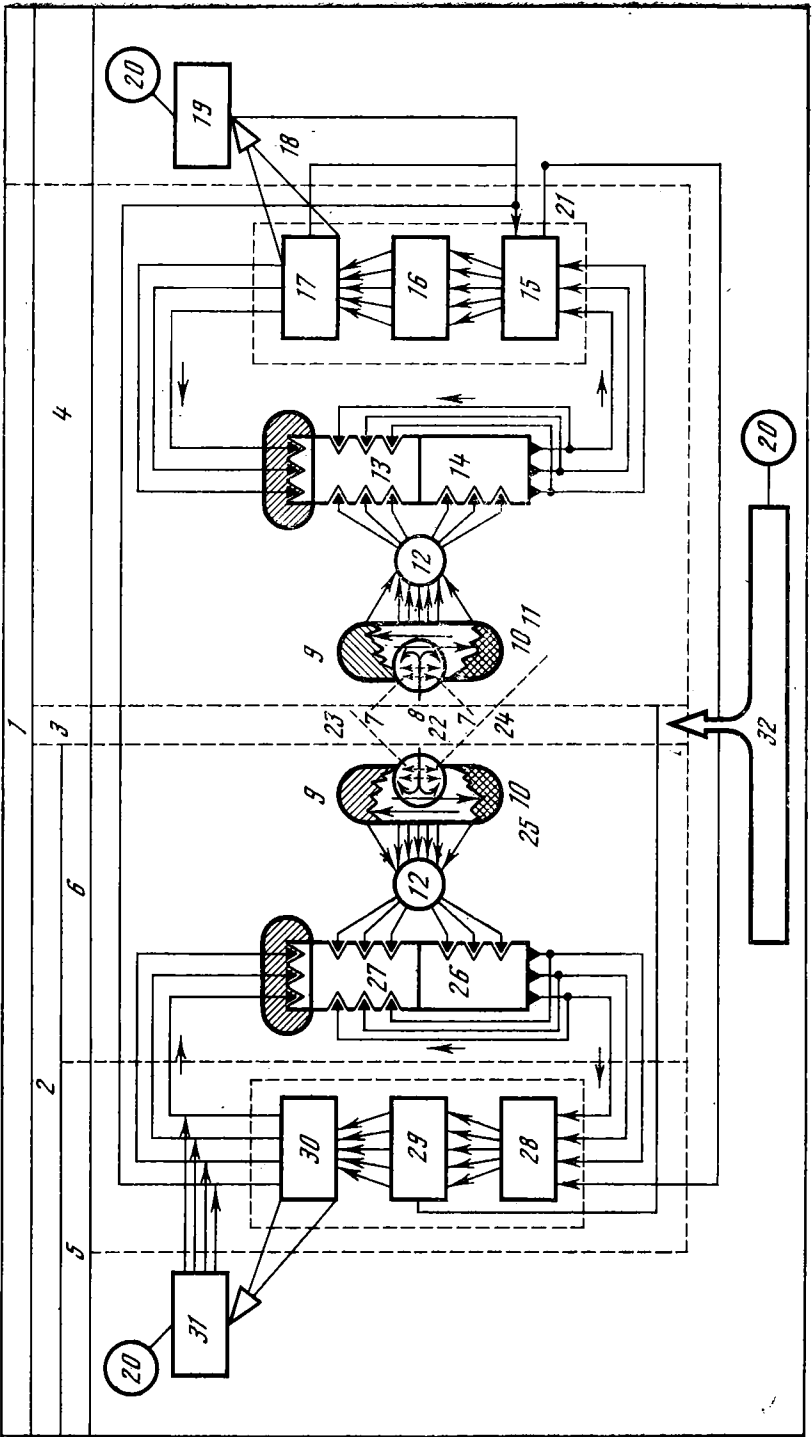
В. Н. ПРАВЕЦКИЙ

В проблеме обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей космических летательных аппаратов основное внимание было сосредоточено на общей структуре функциональной системы «человек — среда обитания — космический летательный аппарат». Последующим изложением ряда частных вопросов преследуется цель охарактеризовать общий уровень состояния некоторых аспектов проблемы. Одновременно можно показать, что ряд вопросов, взятых из, казалось бы, различных областей, укладываются в общую структуру функциональной системы и тем выявляют ее всеобъемлющий характер. Кроме сказанного, функциональная система должна позволить очертить круг научного поиска, технических реализаций и организационных мероприятий, направленных на осуществление длительного космического полета.

Общая структура функциональной системы «Человек — среда обитания — космический летательный аппарат». В настоящее время жизнедеятельность экипажа космического летательного аппарата (КЛА) обеспечивается запасами, взятыми с Земли на весь срок полета, а также пополнения их с помощью транспортных беспилотных и пилотируемых космических летательных аппаратов. Некоторые продукты жизнедеятельности в последнее время подвергаются регенерации на борту КЛА, в частности из накапливаемой влаги (конденсата) регенерируется питьевая вода.

Для длительных полетов необходима более или менее полная регенерация продуктов жизнедеятельности, но для этого требуется реализовать на борту КЛА значительное количество различного рода процессов с использованием множества технических устройств. Несмотря на то что во многих странах мира интенсивно ведутся разработки всего многообразия встающих проблем, практических результатов явно недостаточно. Это, на наш взгляд, объясняется тем обстоятельством, что исследования и опытно-конструкторские разработки направлены на решение частных задач, что приводит к их научной, технической и организационной разобщенности.

Положение дел может резко измениться в лучшую сторону, если применить системный подход к решаемой проблеме. Одной из важнейших задач при этом оказывается построение общей структуры функциональной системы, включающей человека,



среду обитания и технические устройства, обеспечивающие жизнедеятельность экипажа в условиях космического полета.

Существуют ли необходимые предпосылки для создания общей структуры функциональной системы? Положительный ответ на этот вопрос стал возможным в связи с созданием общей теории функциональных систем организма, позволившей по-новому решить ряд физиологических и других задач.

П. К. Анохин¹ выделил три специфических механизма, составляющие структуру функциональной системы: афферентный («приносящий», направленный от периферии к центру) синтез, принятие решения и акцептор («принимающий» и «оценивающий») результата действия (см. рисунок).

На наш взгляд, основные положения разработанной П. К. Анохиным теории функциональных систем с успехом могут быть применены к построению системы обеспечения жизнедеятельности экипажей КЛА, и не только потому, что человек оказывается составной частью системы, но также в силу того, что комплекс технических устройств, предназначенный для создания среды обитания, по нашему мнению, должен иметь структуру, изоморфную структуре функциональной системы, предложенной П. К. Анохиным. В системе обеспечения жизнедеятельности также должны присутствовать все три механизма, составляющие структуру функциональной системы: синтез сигналов, направленных от периферии к центру, принятие решения и устройство, воспринимающее и оценивающее результаты действия, причем каждый из них должен реализовываться в зависимости от сложности решаемых задач: либо автоматическими устройствами, либо с привлечением экипажа и центра управления полетом.

Таким образом, можно уточнить ранее данное нами определение системы обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) человека на

¹ Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. — В кн.: Принципы системной организации функций. М.: Наука, с. 5—61.

Предполагаемая общая архитектура функциональной системы «человек — среда обитания — КЛА», позволяющая рассматривать систему в целом, а также различные уровни аналитических процессов, относящихся ко всем уровням регуляции до молекулярного включительно

1 — космический летательный аппарат; 2 — технические устройства (ТУ) СОЖ; 3 — среда обитания; 4 — человек; 5 — подсистема СОЖ; 6 — БЭВМ; 7 — обстановочная афферентация; 8 — пусковая афферентация; 9 — память; 10 — мотивация; 11 — афферентный синтез; 12 — решение; 13 — акцептор результатов действия; 14 — программа действия; 15 — действие; 16 — результат действия; 17 — параметр действия; 18 — система отображения информации; 19 — измерение, команда на обработку возмущающих воздействий и прогноз; 20 — земля; 21 — система органов управления; 22 — пусковой сигнал; 23 — оценка состояния среды; 24 — оценка состояния человека; 25 — интегративный синтез; 26 — программа действия; 27 — воспринимающее устройство; 28 — действие ТУ СОЖ; 29 — результат действия; 30 — параметры действия; 31 — измерение, прогноз; 32 — измерение возмущающих воздействий, прогноз

борту КЛА: СОЖ экипажа космического летательного аппарата — это функциональная система, имеющая целью создание для экипажа условий, гарантирующих его физическую и психосоциальную устойчивость с заданной степенью надежности. При этом под словом «функциональная» понимается адаптивная, а также временная, топологически строго определенная иерархическая структура, находящаяся в состоянии упреждающей целевой готовности, позволяющей успешно выполнить программу полета.

Остановимся на некоторых сторонах функциональной системы. Аффферентный синтез у человека предусматривает одномоментную обработку сигналов, поступающих из окружающей среды (обстановочная аффферентация), а также характеризующих внутреннее состояние организма (мотивация) в сопоставлении с программами, заложенными в «блоки» памяти. На основе этого процесса вырабатывается решение, поступающее на акцептор результатов действия и на программу действия. Затем осуществляется само действие с соответствующим «отчетом» перед акцептором результата действия.

Интегративный синтез в техническом устройстве должен действовать на основе одномоментной обработки сведений о состоянии человека, среды обитания и технических устройств в сравнении с программами, заложенными в «память» бортовой вычислительной машины. Решение должно поступать на воспринимающее устройство результатов действия и на программу действия. То или иное действие любого технического устройства должно быть контролируемо воспринимающим устройством результата действия, а на важных этапах — экипажем и центром управления полетом.

Необходимость увеличения объема информации, а главное существенного повышения достоверности последней остро ставит вопрос об обработке, полной или частичной, информации на борту. Для этого необходимо применение или бортовой цифровой вычислительной машины или микропроцессоров в составе системы обеспечения жизнедеятельности. Последнее в равной мере должно относиться к физиологической, гигиенической и технической информации. А это потребует единого методологического подхода при создании измерительной техники и управляющих устройств.

В зависимости от конкретных условий решение задачи обеспечения жизнедеятельности может быть реализовано различными методами. Если предстоит выполнить ту или иную операцию в герметическом отсеке КЛА, то необходимо задействовать бортовую систему обеспечения жизнедеятельности, включающую подсистему обеспечения газового состава, подсистему обеспечения теплового режима, подсистему обеспечения пищей и водой, подсистему отображения информации, подсистему органов ручного управления и орудий труда, средства быта и отдыха, средства борьбы с неблагоприятными факторами полета, подсистему безопасности и специальные энергоустановки.

При необходимости выполнения операций в разгерметизиро-

ванном объеме возникает потребность работать в скафандре, а подачу кислорода, удаление углекислого газа и терморегулирование осуществлять за счет герметизированного отсека по специальному фалу. При этом возникают дополнительные требования к системе отображения информации, органам управления и орудиям труда.

При работе вне КЛА потребуется другой тип скафандра, снабженный индивидуальной системой жизнедеятельности. Фал в этом случае будет функционировать как страховочное средство и использоваться для подвода электроэнергии и связи. Наконец, при реализации работы в автономном полете вне КЛА система обеспечения жизнедеятельности скафандра приобретет все качества бортовой системы, к которой прибавятся средства перемещения, а также навигации. Индивидуальные средства обеспечения жизнедеятельности могут и должны использоваться как часть системы спасения.

Следовательно, высказанная нами концепция позволяет несколько по-иному, чем это принято в настоящее время, определить требования к системе обеспечения жизнедеятельности и безопасности в научном, техническом и организационном отношении, в рамках поэтапного создания и эксплуатации систем обеспечения жизнедеятельности различной степени замкнутости по массообмену. Появляется возможность определить место каждой технической системы в едином комплексе и представить конкретные требования к подсистемам и агрегатам, с учетом их математической формализации.

В дальнейшем подвергаются рассмотрению далеко не все вопросы поставленной проблемы, так как комплекс задач, вытекающих из анализа структуры функциональной системы, чрезвычайно широк. Более того, рассматриваемая функциональная система свидетельствует о том, что нельзя изучать вопрос создания того или иного технического устройства для обеспечения жизнедеятельности, например формирования среды обитания, регенерации продуктов жизнедеятельности, подготовки экипажей к полету, диагноза состояния, прогноза работоспособности во время полета и другие, не сконцентрировав своего внимания на таких направлениях, как некоторые фундаментальные понятия системотехники, структурно-функциональная организация биологических систем, в том числе и человека, математическое моделирование биологических систем, влияние на организм человека искусственной среды обитания и динамических факторов полета, технологическая деятельность человека в условиях космического полета и ее проектирование, технические средства (теория процессов и конструкция), обеспечивающие жизнедеятельность экипажа КЛА, безопасность полета.

В то же время по указанным выше мотивам не представляется возможным в рамках данной работы подробно остановиться на всех упомянутых направлениях. В качестве примеров рассмотрим

некоторые частные вопросы обеспечения теплового режима регенерации газа и воды, эргономики, биомеханики и др.

Эргономика, биомеханика, безопасность экипажей КЛА. Работы, посвященные, казалось бы, разным аспектам эргономики, биомеханики и безопасности экипажей КЛА, объединяет довольно ярко выраженная формализация в виде построения различного рода математических моделей, алгоритмов и методик инженерных расчетов. Так, определенный интерес представляет математическая модель, позволяющая проводить исследования деформативных и прочностных свойств грудной клетки, а также оценивать влияние на эти свойства геометрических, инерционных и упругих параметров отдельных реберных пар при действии ударных перегрузок в боковом направлении.

Важна математическая модель колебаний тела человека в положении «сидя», представляемая пятью нелинейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, линеаризация которых в инженерных расчетах в первом приближении позволяет оценить динамические реакции человека на вибрационные воздействия.

Предложенный метод расчета биологического действия вибраций обеспечивает возможность оценки детерминированных и случайных, стационарных и нестационарных, гауссовых и негауссовых вибрационных процессов. Используемый при этом алгоритм удобен для прогнозирования и для экспресс-оценки натуральных вибраций в реальном масштабе времени.

Задачи оптимальной организации рабочего места оператора в авиационном и космическом аппаратах требуют привлечения разнообразных данных, в том числе антропометрических. Проективно-геометрическое двойное отношение оказывается онто- и филогенетическим инвариантом опорно-двигательного аппарата человека, а ростовые изменения этого аппарата обнаруживают свое родство с проективными преобразованиями.

Изучение закономерностей регуляции движений имеет большое значение для подготовки космонавтов. И обнадеживает в этом отношении то обстоятельство, что имеется физическая возможность разомкнутого программного управления движением в суставах с помощью силовых импульсов, когда стабилизация достигается благодаря прерывному контролю кинематических параметров в дискретные моменты времени, программно связанные с управляющими импульсами и предшествующие им. Важное обстоятельство заключается в том, что подобный способ управления может быть источником ошибок при быстрых движениях космонавтов, одетых в скафандры с избыточным давлением.

Первые проработки технических средств реанимации для медицинского стационара в космических условиях показали, что они нуждаются в серьезной интенсификации. Несомненно оправдывает себя как в диагностическом, так и прогностическом отношении опыт разработки бортового реоплетизмографа. Однако традицион-

ные методы и состав измеряемых показателей не дают полной картины происходящих в организме изменений. Бортовые приборы в основном из-за помех в телеметрических каналах по точности и достоверности информации существенно уступают наземным.

Наличие требований к повышению «качества» работы экипажа КЛА на сложных навигационных, научных и технологических комплексах определяет более жесткие, чем существующие, нормативы на параметры среды обитания. При разработке последних необходимо учитывать значительно более широкий диапазон определяющих параметров и шире использовать математические модели взаимодействия человека со средой обитания.

Наличие определяющих параметров позволит достигнуть компромисса между возможностями разработчиков технических систем, требованиями к деятельности экипажа и его физиологическими ограничениями.

Проявляемый в настоящее время интерес к динамическим изменениям параметров среды обитания, позволяющим во многом предотвратить детренированность различных систем организма человека, нуждается как в тщательном экспериментальном исследовании, так и в формализации в целях разработки соответствующих рекомендаций.

Подсистема обеспечения теплового режима (СОТР) является одной из наиболее сложных функциональных подсистем системы обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей КЛА.

Несмотря на то что математическое моделирование на разных этапах создания СОТР КЛА получает все большее применение, до сих пор общие вопросы разработки математических моделей СОТР остаются нерешенными.

Не вызывает сомнения практическая значимость исследований, направленных на разработку методов анализа периодических процессов теплообмена на основе обнаруженных свойств некоторого класса интегральных, дифференциальных и определенного класса интегро-дифференциальных линейных систем уравнений. В линеаризованном представлении прикладных задач подобными уравнениями, а также системами таких уравнений описываются как стационарные температурные поля по тонкостенным цилиндрическим корпусам летательных аппаратов, так и установившийся, периодический по времени, нестационарный тепловой режим различных систем и элементов КЛА.

Другое направление в развитии методов математического моделирования СОТР связано с применением ЭЦВМ. Математическое описание различных элементов приводит в общем случае к системе нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа, дополненной уравнениями переноса тепла излучением, решение которой производится конечно-разностными методами. Стало возможным построение эффективных, устойчивых разностных схем, обладающих высоким быстродействием. Становится своевременной постановка вопроса о представ-

лении разработанных алгоритмов и программ в виде, удобном для использования в инженерной практике.

Большое внимание уделяется исследованию процессов переноса импульса и энергии в обитаемых гермоотсеках КЛА. Процессы переноса энергии и тепловой режим элементов замкнутого объема описываются системой уравнений в частных производных, которая в настоящее время не может быть решена. Идентификация объема в этом случае возможна путем эксперимента на моделях. Системы определяющих критериев, получаемых из исходных уравнений конвективного переноса, достаточно сложны. Обеспечить при моделировании равенство всех критериев, входящих в эти системы, практически невозможно. При попытке установить условия подобия между моделью и прототипом возникают существенные трудности, заставляющие искать компромиссные решения и пренебрегать частью критериев. В настоящее время отсутствуют практически пригодные системы определяющих критериев и методы моделирования процессов конвективного переноса, применяемых для объема в целом. Возникает существенная необходимость в получении критериальных систем и методов физического моделирования процессов переноса в замкнутых объемах.

Современные методы идентификации имеют огромное значение и вносят существенный вклад в экспериментальную отработку систем. Алгоритм идентификации, основанный на уравнениях квазилинейного фильтра Калмана, показывает устойчивость счета при восстановлении многих параметров теплопередачи.

Перспективным методом анализа чувствительности математических моделей СОТР оказывается метод отсеивающего эксперимента. Анализ чувствительности по методу случайного баланса позволяет, например, для модели СОТР с 30 неточно заданными коэффициентами определить 8 существенных параметров, уточнение которых снижает максимальную ошибку предсказания температуры воздуха в гермообъеме почти на порядок.

Важной представляется весовая оптимизация СОТР с применением геометрического программирования.

Подсистемы регенерации газа и воды. Возрастающая сложность систем регенерации газовой среды, трудности проведения натуральных испытаний заставляют уделять все большее внимание разработке машинных методов анализа функционирования системы. Для этого необходимы соответствующие математические модели. Если на этапе эскизного проектирования отказаться от полного описания концентрационных полей в гермокабине и ограничиться интегральными характеристиками процессов, то можно создать сравнительно несложные математические модели различной степени приближения. Такие модели могут описывать статические и динамические свойства как системы в целом, так и отдельных агрегатов, в том числе довольно сложных (электролизера и др.). Это в свою очередь позволяет реализовать структурное моделиро-

вание системы регенерации газовой среды на ЭВМ с учетом выходов массоэнергетической модели организма человека.

Возможен анализ результатов моделирования на динамической квазигомогенной модели идеального смешения, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, и на динамической квазигомогенной модели продольного смешения, описываемой системой дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Выбор этих моделей обусловлен тем, что вторая модель позволяет изучить особенности протекания процессов внутри реактора на основании получения полей температур и концентраций, а первая наиболее приемлема для дальнейших этапов моделирования — оптимизации и определения параметрической чувствительности.

Результаты исследований диссипативной функции, проведенных при различных плотностях тока, температурах, входных концентрациях углекислого газа, позволяют установить влияние основных параметров процесса на устойчивость. Наиболее резкие изменения диссипативной функции наблюдаются на внешних границах системы и в зонах химических превращений. В свете изложенного выше становится все более очевидной необходимость применения теории неравновесной термодинамики для разработки ряда вопросов главным образом на агрегатном уровне.

Особое значение имеет проблема управления газовым составом в кабине. В ней интересны три аспекта. Первый — необходимость ухода от стационарного состава газовой среды гермокабины к «динамическому» как своеобразному средству предотвращения детренированности различных систем организма человека. Второй — предложения по конструкции индивидуальных микрокабин для достижения «динамичности» газового состава. Третий — предложения по организации системы автоматизированного регулирования парциального состава газов микрогермообъектов.

Важное значение приобретают исследования развития систем регенерации газовой среды с использованием модулей твердых источников кислорода и регенерируемых модулей очистки воздуха от углекислого газа, а также сопоставление массоэнергетических характеристик системы регенерации газовой среды с использованием модулей твердых источников кислорода и регенерируемых модулей очистки воздуха с использованием надперекисных веществ.

На основании соответствующих расчетов возникло предположение о возможности организации высокоэффективных процессов ступенчатой откачки. Предварительные исследования показали перспективность использования в газовой полости насоса диафрагм и клапанов, установленных на стыке ступеней откачки, что позволяет создать многоступенчатый сорбционный насос, по эффективности не уступающий многонасосным агрегатам.

Большой интерес с точки зрения автоматизации контроля процесса регенерации воды представляет использование нового метода — потенциометрии с применением ионоселективных электродов.

ВЫВОДЫ

В настоящее время на основании системного подхода стало возможным научное, техническое и организационное объединение усилий по созданию системы обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей КЛА для длительного космического полета.

Комплекс задач, вытекающих из анализа структуры функциональной системы, чрезвычайно широк и подразделяется на следующие основные направления:

1) теоретические и экспериментальные исследования влияния факторов космического полета на экипаж и технические устройства системы обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей КЛА;

2) исследование взаимодействия организма человека со средой обитания и процессов формирования среды обитания;

3) создание автоматизированной системы управления и контроля за состоянием экипажа, среды обитания и технических устройств системы обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажа КЛА;

4) математическое и физическое моделирование функциональных подсистем организма человека, искусственно созданной среды обитания и технических устройств системы, обеспечивающее проектирование соответствующих подсистем.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ И ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

В. С. АВДУЕВСКИЙ

Исследование планет Солнечной системы, их спутников, астероидов и комет имеет огромное значение для понимания процессов, протекающих на Земле, которая сама является одной из девяти планет Солнечной системы и образовалась и развилась вместе с Солнечной системой примерно 4,5 млрд. лет назад.

Необычно сильным и эффективным средством, создавшим новую эпоху в планетологии, явилось исследование планет с помощью космических аппаратов. С 1959 г. в Советском Союзе начаты первые исследования Луны с помощью советских космических аппаратов «Луна» и «Зонд». В 1961 г. запущен в сторону Венеры космический аппарат «Венера-1», а в 1962 г. — «Марс-1». С тех пор аппараты «Луна», «Зонд», «Венера» и «Марс» проводят систематические исследования Луны и планет.

Начало космической эры совпало с периодом быстрого прогресса в развитии дистанционных радиофизических и радиолокационных методов исследований планет с наземных станций. Успешные полеты советских аппаратов, так же как и полеты космических аппаратов США — «Аполло», «Маринер», «Викинг», «Пионер», последние наземные радиофизические и радиолокационные измерения дали информацию, в ряде случаев принципиально изменившую представления о планетах и Луне, позволили заново рассмотреть и интерпретировать данные предыдущих наземных наблюдений.

Успехи исследований с помощью космических аппаратов способствовали развитию таких наук, как космохимия и физика планет, механика атмосфер планет, сравнительная метеорология и планетология, и явились толчком для развития космической техники, высочайшей технологии, микроэлектроники, дальней радиосвязи, аэродинамики и баллистики.

Наибольший интерес для исследований представляют планеты земной группы Венера и Марс. Можно ожидать, что эти планеты имеют сходные с Землей возраст и эволюцию. Происхождение Луны — спутника Земли, по-видимому, наиболее тесно связано с происхождением Земли.

Планеты-гиганты Юпитер, Уран, Сатурн, Нептун отличны от планет земной группы по составу и размерам, их исследование может пролить свет на происхождение Солнечной системы и ее развитие, особенно на ранней стадии.

Выдающимся примером успехов в исследовании планет являются исследования Венеры. В 1961 г. стартовал первый советский аппарат в сторону Венеры.

В 1967 г. советский космический зонд «Венера-4» впервые осуществил прямые измерения параметров атмосферы Венеры во время парашютного спуска.

Наличие атмосферы у Венеры было установлено в 1761 г. М. В. Ломоносовым. Астрономические наблюдения Венеры сильно осложнены наличием облаков и атмосферы, отражающих и рассеивающих свет. Развитые в последние годы радиофизические и радиолокационные измерения с Земли дали возможность проникнуть сквозь облака и получить данные о ее радиусе, скорости собственного вращения и некоторое представление о поверхности планеты.

Однако только прямые измерения, начатые аппаратом «Венера-4», дали возможность построить достоверную модель атмосферы и объяснить результаты, полученные при дистанционных измерениях. Модель атмосферы послужила основой для дальнейших исследований физики этой планеты.

Количество кислорода в атмосфере не превышает 0,1%, количество воды может находиться в пределах от 0,1 до 1%. Заслуживает внимания присутствие в атмосфере Венеры примеси сернистых, хлористых, фтористых соединений, окиси углерода, появившихся предположительно вместе с CO_2 в результате вулканической деятельности. При этом интересно понять механизм исчезновения воды, которая должна была присутствовать в больших количествах в вулканических газах.

Венера оказалась горячей планетой, окруженной плотной атмосферой и облаками. За счет большой тепловой инерции температура атмосферы в нижних слоях ночью, которая равна по продолжительности 58,5 земных суток, и температура днем практически одинаковы. Нет и сезонных изменений температуры в течение венерианского года, равного 225 земным суткам.

На основании измерений и расчетов механизм разогрева поверхности планеты по крайней мере в приэкваториальных областях может быть объяснен «парниковым» эффектом. Выяснению этого вопроса способствовали измерения освещенности с помощью аппаратов «Венера-8, -9, -10», осуществивших посадку на освещенную поверхность планеты.

Облака Венеры, занимающие по высоте диапазон от 35—45 до 65—70 км, по характеру близки к редкому туману сложного состава с дальностью видимости более километра. В облаках рассеивается больше половины падающей солнечной энергии. Плотная атмосфера также является причиной сильного релеевского рассеяния света, в результате чего детали поверхности Венеры должны быть плохо различимы со спускаемого аппарата даже с высот в несколько километров.

К поверхности Венеры проходит сильно рассеянный, измененный по спектру солнечный свет. Небо представляется в виде однородно освещенного купола, большое изменение показателя преломления по высоте создает оптические искажения при взгляде вдоль поверхности. Освещенность поверхности в приэкваториальной зоне, измеренная, когда Солнце было расположено близко к зениту, оказалась достаточно высокой для фотографирования и составила примерно 14000 лк. Отражательная способность поверхности очень мала, и поэтому поверхность поглощает почти всю падающую на нее солнечную энергию, чего в условиях, когда высвечивание поверхности очень мало из-за плотной атмосферы, достаточно для поддержания высокой температуры.

При взгляде из космоса Венера представляет собой белый яркий диск, в ультрафиолетовых лучах видны характерные темные образования, перемещающиеся в направлении вращения Венеры вокруг своей оси (противоположном направлению обращения Венеры и других планет вокруг Солнца) со скоростью около 100 м/с и делающие один оборот вокруг планеты примерно за 4 земных суток.

Предположение о наличии на этой высоте сильных ветров согласуется с изменениями ветра на аппаратах серии «Венера» и последними наземными спектрометрическими изменениями. Однако природа ультрафиолетового поглотителя и причина периодических образований типичной формы пока не ясны, так же как и не известен состав облаков на Венере. Наиболее правдоподобным пока является предположение, что верхняя часть облаков состоит из мельчайших капелек серной кислоты.

На панорамах, полученных с посадочных аппаратов «Венера-9» и «Венера-10», видно, что поверхность представляет собой раскаленную пустыню, покрытую каменистой коркой, во многих местах растрескавшейся. По своему характеру и по удельному весу (2—2,5 г/см³) поверхностные породы близки к базальтам. Свежий характер изломов отдельных камней может быть объяснен термическими процессами, землетрясением и вулканизмом. О наличии вулканов косвенно свидетельствуют и результаты наземных радиолокационных наблюдений, с помощью которых на Венере обнаружены кольцевые горы.

Космические исследования Венеры только начались. Еще не изучены полярные области, где возможны мощные нисходящие потоки, не измерена непосредственно сейсмическая активность, нет карты рельефа, не определены состав примесей в атмосфере, природа облаков.

Тем не менее можно предполагать, что Венера, образовавшись одновременно с Землей, либо находится на более ранней стадии эволюции, либо ее развитие идет в другом направлении. Понимание этого вопроса очень важно для понимания эволюции Земли.

Большое внимание во все периоды истории привлекала Луна — спутник Земли, расположенный на расстоянии 384 тыс. км, обращенный к Земле всегда одной и той же стороной. Относительно близкое расположение Луны от Земли позволило направить на ее поверхность, а также на орбиту вокруг Луны наибольшее количество космических аппаратов и даже высадить на Луну людей.

Советский Союз явился пионером в области исследований Луны с помощью автоматических космических аппаратов. Происхождение Луны несомненно связано с происхождением Земли, и поэтому главные усилия при космических исследованиях были направлены на выяснение происхождения и эволюции Луны. Луна лишена атмосферы. Ее поверхностный слой толщиной до нескольких метров в результате ударов метеоритов, тепловых процессов, воздействия космических лучей и др. переработан в обломочно-пылевой разнородный порошок — реголит. Благодаря отсутствию атмосферы и необычайно низкой измеренной теплопроводности реголита перепад температур днем и ночью на Луне очень велик. Ночью поверхность быстро высвечивается и температура равна примерно -120°C . Днем поверхность разогревается примерно до $+140^{\circ}\text{C}$. На Луне найдены образцы пород с возрастом (определенным по соотношению изотопов различных радиоактивных элементов), равным примерно 4,6 млрд. лет. Этот возраст и является, по-видимому, возрастом планет Солнечной системы.

В течение первого миллиарда лет истории Луны происходило образование лунных морей и огромных кратеров в результате ударов огромных тел и вулканических процессов. Лунные моря представляют собой огромные бассейны, залитые застывшей лавой. Измерение возраста пород, покрывающих моря, позволяет утверждать, что в течение последних трех с половиной миллиардов лет серьезной вулканической деятельности на Луне не было. Луна в настоящее время очень спокойное тело. Для выявления сейсмических явлений на Луне не пригодны земные сейсмометры, и только специальные сверхчувствительные сейсмометры регистрируют весьма слабые возмущения. Благодаря особым свойствам лунной коры затухание колебаний в ней очень мало, и сейсмометры улавливают колебания в течение нескольких часов.

Лунные моря в основном образовались только на видимой стороне Луны. Во многих из них наблюдаются концентрации массы, так называемые масконы, влияющие на гравитационное поле. Природа образования масконов еще не достаточно ясна, так же как и вопрос о том, почему видимая сторона Луны так сильно отличается от невидимой.

Требует дальнейших исследований тепловая история Луны. Кора Луны, равная по толщине примерно 60 км, выделилась в ранний период ее образования, что указывает на трудно объяснимые высокие значения начальной температуры.

В настоящее время Луна быстро остывает, под корой образовалась мощная литосфера, простирающаяся до глубины 1000 км. В центре Луны находится вязкая и, возможно, расплавленная часть — ядро, в отличие от земного не содержащее железа и никеля.

Измеренный поток тепла из недр Луны, равный примерно половине земного, значительно, примерно в 3 раза, больше, чем можно предположить из ожидаемого количества радиоактивных элементов по так называемой хондритовой модели образования Луны и планет.

В целом можно утверждать, что прямые космические исследования Луны привели к необходимости пересмотра казавшихся очевидными представлений о происхождении Луны и планет, в связи с чем возникли совершенно новые вопросы, требующие дальнейших исследований. Особенно много неожиданностей принесли исследования с помощью космических аппаратов планеты Марс. Марс в течение длительного времени наблюдался с Земли с помощью телескопов, и по ряду признаков предполагалось наличие на Марсе заметной биологической активности и даже следов цивилизации. В результате полетов автоматических космических аппаратов к Марсу представления об этой планете изменились коренным образом. Полученные результаты могут способствовать объяснению геологических и климатических особенностей планет и лучшему пониманию истории их развития.

Марс имеет атмосферу, состоящую в основном из углекислого газа и примерно в 100 раз менее плотную, чем атмосфера Земли, и в 10 тыс. раз менее плотную, чем атмосфера Венеры. Соответственно на Марсе существенно меньше тепловая инерция атмосферы и, следовательно, характерное время климатических изменений. В течение суток, равных на Марсе 24,6 ч, средняя температура в экваториальных областях летом изменяется от -70°C ночью до $+20^{\circ}\text{C}$ днем. В районе полюсов температура снижается до -120°C . Из-за больших перепадов температур на Марсе почти непрерывно дуют ветры, поднимающие очень мелкую пыль, придающую небу и поверхности красноватую окраску.

Неожиданное атмосферное явление, с которым столкнулись исследователи при полетах космических аппаратов, — это возможность существования на Марсе глобальных пылевых бурь, продолжающихся до нескольких месяцев при скорости ветра 100—150 м/с. Причины их возникновения и прекращения не ясны, так же как и существование ветров в верхних слоях атмосферы Венеры. Понимание этого вопроса очень важно для метеорологии. Ветры и бури, являющиеся особенностью природы Марса, постоянно изменяют наблюдаемую картину планеты и ее атмосферы, переносят с места на место огромные количества вещества поверхности.

Геологическая история Марса очень сложна. Поверхность Марса в настоящее время представляет собой пустыню, покрытую крас-

новатой пылью. Большая часть планеты занята равнинами, покрытыми застывшей лавой и кратерами ударного типа.

Полученные данные свидетельствуют о том, что Марс, так же как Луна и, очевидно, как Земля и Венера, примерно 4 млрд. лет назад, подвергался бомбардировке крупными небесными телами, которые в ряде случаев проламывали кору планеты.

Однако наряду с этим в истории Марса намного позднее, примерно 1 млрд. лет назад, был неожиданный период новой, необычайно мощной вулканической активности. В результате вулканической деятельности образовался огромный вулканический щит, поднимающийся над поверхностью примерно на 3 км и создавший аномалии гравитационного поля. На щите расположено пять гигантских хорошо выраженных вулканов, не имеющих аналогов на Земле. Самый большой вулкан — «Ника Олимпики» имеет диаметр около 500 км с высотой окружающих гор от 15 до 25 км. На вулканах мало следов коррозии и ударов метеоритов, что говорит о существовании в истории Марса более позднего периода вулканической и тектонической деятельности. Понимание природы этого позднего периода вулканизма на планете, которая, по-видимому, находится на более поздней стадии развития, чем Земля, представляется очень важным, если иметь в виду, что на Земле в настоящее время около 500 действующих вулканов.

Выдающейся геологической особенностью Марса является гигантский пояс провалов, расположенных вдоль экватора, которые начинаются от вулканического щита и имеют ширину до 200 км и глубину от 3 до 5 км.

После того как на Венере с ее мощной атмосферой найдено лишь ничтожно малое количество воды, трудно было ожидать сколько-нибудь серьезного присутствия воды на Марсе. Действительно, в разреженной атмосфере Марса содержится очень малое количество паров воды. Поверхность Марса, похожая во многих районах на поверхность Луны, — пустыня. Поэтому большим сюрпризом, представляющим огромный научный интерес, явилось открытие на Марсе следов водной эрозии, высохших русел рек и других доказательств присутствия на Марсе больших количеств воды в недавнем прошлом.

В настоящее время средняя температура Марса такова, что жидкая вода на поверхности не может существовать, однако возможно, что большое количество воды содержится в форме вечной мерзлоты под пылью и в полярных шапках в смеси с замерзшей углекислотой.

В результате возгонки под действием солнечных лучей над полярными шапками и в некоторых других районах образуются тонкие облака водяных паров, которые удается наблюдать на фотографиях.

Полярные шапки, которые несомненно влияют на климат Марса, в настоящее время изменяются по величине в очень широких пределах, достигая в зимний период широты 40—50°, что соответ-

ствуется на Земле широте Харькова. В летний период полярные шапки сохраняются в небольшой области около полюсов. Благодаря периодическим отложениям пыли на полюсах удается наблюдать, как развивались отдельные слои отложений в соответствии с изменением климата и колебаниями наклона оси вращения планеты. Сделано предположение, что в какие-то периоды за счет изменения солнечной активности, наклона оси вращения, а может быть и внутренних процессов, наступало потепление, приводящее к оттаиванию воды, образованию более плотной атмосферы и, возможно, к появлению биологической активности.

Космические исследования планет продолжают немногим более двадцати лет. Тем не менее с помощью космических аппаратов уже получены очень важные результаты. Можно с уверенностью сказать, что в ближайшие годы эти исследования будут с успехом продолжаться и будут получены новые данные, способствующие пониманию происхождения и развития планет Солнечной системы, и в первую очередь Земли.

*

КОСМОС — ПРИРОДА — ЧЕЛОВЕК

Ю. П. КИЕНКО, А. Д. КОВАЛЬ

Развитие космонавтики открыло огромные возможности в познании природы нашей планеты, поставило на службу человеку космические методы и средства исследования природной среды, позволило решать важные проблемы науки и практические задачи для различных отраслей народного хозяйства.

12 апреля 1961 г. вошло в историю не только как открытие эры непосредственного покорения космоса человеком, но и как начало планомерного исследования Земли с орбитальных высот. Юрий Алексеевич Гагарин, наблюдая поверхность нашей планеты через иллюминатор, отмечал, что хорошо просматривались колхозные поля, береговая линия, реки и озера. Причем вид ландшафтов чем-то напоминал ему то, что видно с борта высотного самолета. Он говорил после полета: «На дневной стороне Земли, освещенной Солнцем, очень хорошо видны крупные реки, большие водоемы, леса, группы и складки местности, береговые линии. Во время полета над Советским Союзом очень хорошо просматриваются квадраты колхозных полей» [1]. Эти первые в истории наблюдения послужили началом развития идей и методов космического земледения, точнее, природоведения, вклад в которое внесли практически все пилотируемые полеты. За прошедшие годы (1961—1978 гг.) были выведены в космос шесть кораблей «Восток», два многоместных корабля «Восход», тридцать один корабль многоцелевого назначения «Союз», шесть орбитальных станций «Салют». Из таблицы, в которой представлены основные сведения о полетах советских космонавтов, хорошо видна последовательность развития пилотируемых полетов от первых одноместных космических кораблей к долговременным орбитальным станциям, оснащенным разнообразными средствами дистанционного зондирования Земли.

Впервые фотографирование Земли из космоса осуществил летчик-космонавт СССР Герман Степанович Титов с борта корабля «Восток-2» в августе 1961 г. С тех пор методы и средства наблюдения Земли из космоса совершенствовались от полета к полету. С выходом на космические трассы многоцелевых кораблей «Союз» исследование нашей планеты стало многоплановым и разносторонним.

В июне 1970 г. во время 18-суточного полета на космическом корабле «Союз-9» летчики-космонавты СССР А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов много внимания уделяли фотосъемке Земли. Ими получен ряд интересных снимков, обладающих высоким фотографическим качеством, среди них фотографии Сальских степей, кольцевой структуры Рихат, Кавказа, Средней Азии, залива Кара-Богаз-Гол, Западного Устюрта и др. Во время этого

Корабль, станция	Дата запуска	Экипаж (позывной экипажа)	Основные сведения о полете
------------------	--------------	---------------------------	----------------------------

Программа «Восток»

«Восток»	12 апреля 1961 г.	Ю. А. Гагарин («Кедр»)	Первый в мире космический полет человека
«Восток-2»	6 августа 1961 г.	Г. С. Титов («Орел»)	Первый суточный космический полет человека, первое фотографирование поверхности Земли
«Восток-3»	11 августа 1962 г.	А. Г. Николаев («Сокол»)	Первый групповой полет двух космических кораблей
«Восток-4»	12 августа 1962 г.	П. Р. Попович («Беркут»)	Телевизионные передачи из космоса
«Восток-5»	14 июня 1963 г.	В. Ф. Быковский («Ястреб»)	Групповой полет двух космических кораблей
«Восток-6»	16 июня	В. В. Терешкова («Чайка»)	Первый космический полет женщины

Программа «Восход»

«Восход»	12 октября 1964 г.	В. М. Комаров, К. П. Феоктистов, Б. Б. Егоров («Рубин»)	Первый полет многоместного космического корабля
«Восход-2»	18 марта 1965 г.	П. И. Беляев, А. А. Леонов («Алмаз»)	Первый в мире выход человека (А. Леонов) из корабля в открытый космос

Программа «Союз» и «Салют»

«Союз-1»	23 апреля 1967 г.	В. М. Комаров («Рубин»)	Испытательный полет нового многоцелевого пилотируемого космического корабля. При возвращении на Землю космонавт погиб
«Союз-2»	25 октября 1968 г.	Беспилотный	
«Союз-3»	26 октября 1968 г.	Г. Т. Береговой («Аргон»)	Многочисленное маневрирование корабля «Союз-3» и сближение с кораблем «Союз-2»
«Союз-4»	14 января 1969 г.	В. А. Шаталов («Амур»)	Первая стыковка двух пилотируемых кораблей. Создание первой в мире космической станции стыковкой кораблей «Союз-4» и «Союз-5», переход из корабля в корабль Елисея и Хрунова через космос.
«Союз-5»	15 января 1969 г.	Б. В. Волинов, А. С. Елисеев, Е. В. Хрунов («Байкал»)	
«Союз-6»	11 октября 1969 г.	Г. С. Шонин, В. Н. Кубасов («Антей»)	Первый групповой полет трех пилотируемых кораблей и эксперименты по сварке металлов в условиях вакуума и невесомости («Союз-6»)
«Союз-7»	12 октября 1969 г.	А. В. Филипченко, В. Н. Волков, В. В. Горбатко («Буран»)	

Корабль, станция	Дата запуска	Экипаж (позывной экипажа)	Основные сведения о полете
«Союз-8»	13 октября 1969 г.	В. А. Шаталов, А. С. Елисеев («Гранит»)	
«Союз-9»	1 июня 1970 г.	А. Г. Николаев, В. И. Севастьянов («Сокол»)	Первый длительный космический полет (18 сут.). Медико-биологические исследования по изучению влияния факторов длительного полета на организм человека, исследования в различных областях науки, изучение Земли из космоса, в том числе в интересах народного хозяйства
«Салют»	19 апреля 1971 г.		Первая долговременная орбитальная научная станция
«Союз-10»	23 апреля 1971 г.	В. А. Шаталов, А. С. Елисеев, Н. Н. Рукавишников («Гранит»)	Эксперименты по стыковке и расстыковке корабля «Союз-10» со станцией «Салют»
«Союз-11»	6 июня 1971 г.	Г. Т. Добровольский, В. Н. Волков, В. И. Пацаев, («Янтарь»)	Стыковка корабля «Союз-11» с «Салютом», образование первой пилотируемой орбитальной станции. Выполнен в течение 24-суточного полета большой объем научно-технических, медико-биологических и народнохозяйственных исследований и экспериментов. При возвращении на Землю экипаж погиб
«Салют-2»	3 апреля 1973 г.	Работа в автоматическом режиме	Отработка усовершенствованной конструкции, систем и аппаратуры
«Союз-12»	27 сентября 1973 г.	В. Г. Лазарев, О. Г. Макаров («Урал»)	Комплексная проверка усовершенствованных бортовых систем, научные и технические исследования. Многозональная съемка поверхности Земли
«Союз-13»	18 декабря 1973 г.	П. И. Климук, В. В. Лебедев («Кавказ»)	Астрофизические наблюдения, решение народнохозяйственных задач
«Салют-3»	25 июня 1974 г.		Долговременная орбитальная научная станция. Работа в течение семи месяцев в пилотируемом и автоматическом режимах
«Союз-14»	3 июля 1974 г.	П. Р. Попович, Ю. П. Артюхин («Беркут»)	Стыковка корабля «Союз-14» с «Салютом-3» и переход экипажа на борт станции. Получены обширные материалы, имеющие важное научное и народнохозяйственное значение
«Союз-15»	26 августа 1974 г.	Г. В. Сарафанов, Л. С. Демин («Дунай»)	Совместный полет со станцией «Салют-3». Отработка процессов маневрирования и сближения со станцией «Салют-3» с помощью автоматических систем в различных режимах полета. Первая посадка корабля при возвращении на Землю в ночных условиях.

Корабль, станция	Дата запуска	Экипаж (позывной экипажа)	Основные сведения о полете
«Союз-16»	2 декабря 1974 г.	А. В. Филипенко, Н. Н. Рукавишников («Буран»)	Испытания бортовых систем корабля, модернизированных в соответствии с требованиями программы ЭПАС («Союз»—«Аполлон»), научные, технические и прикладные исследования
«Салют-4»	26 декабря 1974 г.		Долговременная орбитальная научная станция. Работа в пилотируемом и автоматическом режимах. Работа на станции двух экспедиций
«Союз-17»	11 января 1975 г.	А. А. Губарев, Г. М. Гречко («Зенит»)	Стыковка корабля «Союз-17» со станцией «Салют-4» и переход экипажа на борт станции. В течение 30 сут. выполнен большой комплекс научно-технических, медико-биологических и прикладных исследований
«Союз 8»	24 мая 1975 г.	П. И. Климук, В. И. Севастьянов («Кавказ»)	Стыковка корабля «Союз-18» с «Салютом-4», переход экипажа на борт станции (вторая экспедиция). В течение 63 сут. выполнен большой комплекс научно-технических, медико-биологических и прикладных исследований
«Союз-19»	15 июля 1975 г.	А. А. Леонов, В. Н. Кубасов («Союз»)	Совместный советско-американский полет по программе «Союз»—«Аполлон». Стыковка кораблей «Союз» и «Аполлон», взаимные переходы космонавтов из корабля в корабль, эксперименты
«Союз-20»	17 ноября 1975 г.	Беспилотный	Стыковка «Союза-20» со станцией «Салют-4». Отработка и испытание конструкции и приборов в длительном 92-суточном полете
«Салют-5»	22 июня 1976 г.		Долговременная орбитальная научная станция. Работа в пилотируемом и автоматическом режимах. Работа на станции двух экспедиций
«Салют-21»	6 июля 1976 г.	Б. В. Вольнов, В. М. Жолобов («Байкал»)	Стыковка корабля «Союз-21» с «Салютом-5» и переход экипажа на борт станции. В течение 48 сут. проведен широкий комплекс исследований, в том числе фотографирование поверхности Земли и эксперименты по космической технологии
«Союз-22»	15 сентября 1976 г.	В. Ф. Быковский, В. В. Аксенов («Ястреб»)	Фотографирование поверхности Земли многозональной камерой МКФ-6
«Союз-23»	14 октября 1976 г.	В. Д. Зудов, В. И. Рождественский («Родон»)	Из-за пересчетного режима работы системы управления сближением корабля стыковка со станцией «Салют-5» была отменена
«Союз-24»	7 февраля 1977 г.	В. В. Горбатко, Ю. Н. Глазков («Терек»)	Стыковка с «Салютом-5» и переход экипажа на борт станции. Продолжение исследований и экспериментов, выполнявшихся первой экспедицией

Корабль, станция	Дата запуска	Экипаж (позывной экипажа)	[Основные сведения о полете]
«Салют-6»	29 сентября 1977 г.		Долговременная орбитальная научная станция второго поколения. Работа в пилотируемом и автоматическом режимах совместно с пилотируемыми кораблями «Союз» и автоматическими грузовыми кораблями «Прогресс». Имеет два стыковочных узла. Предназначена для международных экспедиций по программе «Интеркосмос»
«Союз-25»	9 октября 1977 г.	В. В. Коваленок В. В. Рюмин («Фотон»)	Из-за отклонений от предусмотренного режима причаливания стыковка была отменена
«Союз-26»	10 декабря 1977 г.	Ю. В. Романенко, Г. М. Гречко («Таймыр»)	Стыковка с «Салютом 6». Первая основная экспедиция на станцию. Экипаж выполнил широкий комплекс разнообразных исследований и экспериментов в течение 96-суточного полета. Получена обширная информация о Земле. Возвращение на Землю в корабле «Союз-27»
«Союз-27»	10 января 1978 г.	В. А. Джанибеков, О. Г. Макаров («Памир»)	Стыковка с «Салютом-6». Первая экспедиция посещения на станцию «Салют-6». Совместный полет в составе космического комплекса «Союз-26» — «Салют-6» — «Союз-27». Возвращение на Землю в корабле «Союз-26»
«Союз-28»	2 марта 1978 г.	А. А. Губарев, В. Ремек (ЧССР) («Зенит»)	Стыковка с «Салютом-6», вторая экспедиция посещения на станцию «Салют-6» и первая международная экспедиция. Создание первой в мире международной орбитальной лаборатории в космосе. Выполнены исследования, подготовленные учеными СССР и ЧССР
«Союз-29»	15 июня 1978 г.	В. В. Коваленок, А. С. Иванченков («Фотон»)	Стыковка с «Салютом-6». Вторая основная экспедиция на станцию. В течение 140 суток экипаж выполнил обширную программу исследований, в том числе в области космического природоведения. Возвращение на Землю в корабле «Союз-31»
«Союз-30»	27 июня 1978 г.	П. И. Климук, М. Гермашевский (ПНР) («Кавказ»)	Стыковка с «Салютом-6», третья экспедиция посещения на станцию и вторая международная экспедиция
«Союз-31»	26 августа 1978 г.	В. Ф. Быковский, З. Йен (ГДР) («Ястреб»)	Стыковка с «Салютом-6», четвертая экспедиция посещения на станцию и третья международная экспедиция. Выполнен большой комплекс работ по исследованию Земли по программам «Биосфера» и «МКФ-6М». Возвращение на Землю в корабле «Союз-29»

полета впервые был проведен достаточно широкий подспутниковый эксперимент в целях отработки методики дешифрирования. Так, 15 июня 1970 г. с «Союза-9» фотографировались два основных ключевых участка на территории СССР — район Сальских сухих степей в Ростовской области и пустыни плато Устюрт. Одновременно в этих районах выполнялись аэрофотосъемка, аэровизуальные, а также полевые наблюдения. Еще один синхронный подспутниковый эксперимент проводился в морской акватории с использованием научно-исследовательского судна «Академик Ширшов». Эти работы послужили толчком к развертыванию научно-методических исследований по визуальной интерпретации космофотоснимков в интересах различных наук о Земле и народного хозяйства.

Существенный объем экспериментов по многозональному фотографированию Земли был проведен на космическом корабле «Союз-12» летчиками-космонавтами СССР В. Г. Лазаревым и О. Г. Макаровым. Съемка проводилась в 6 (большая часть территории) и 9 зонах оптического диапазона спектра электромагнитного излучения. При этом длины волн, соответствующие максимумам спектральной чувствительности многозональной съемочной системы «Союза-12», составляли: 580, 660, 680 нм (пленка «Изопанхром тип 17»), 470, 540, 640 нм (пленка «Изопанхром тип КН-13») и 430, 800, 820 нм (пленка «Инфрахром тип И-840»). Эта работа позволила получить первый экспериментальный материал, подтверждающий эффективность метода многозонального фотографирования Земли в интересах изучения загрязнения морских акваторий, рельефа мелководий, донных отложений и водной растительности, определения четких границ водных объектов суши, исследования засоления почв, распространения песков, мощности рыхлых отложений, определения очагов лесных пожаров и др. Многоспектральные снимки использовались для распознавания природных объектов по их спектральным особенностям. Снимки, полученные в разных зонах, подвергались взаимному сравнению, яркостному преобразованию и цветокодированию. Эта работа была продолжена экипажем космического корабля «Союз-13», летчиками-космонавтами СССР П. И. Климуком и В. В. Лебедевым, в декабре 1973 г.

Большой объем фотографирования Земли из космоса был выполнен с борта первой в мире орбитальной станции «Салют» в июне 1971 г. летчиками-космонавтами СССР Г. Т. Добровольским, В. Н. Волковым и В. И. Пацаевым. По существу впервые была сделана попытка решать не только научно-методические, но и конкретные практические задачи по космофотосъемке в интересах народного хозяйства. Были получены цветные снимки мезомасштабных атмосферных возмущений с разрешением, недоступным для аппаратуры метеорологических спутников. По этим снимкам изучалась динамика взаимодействия нижней атмосферы с подстилающей поверхностью, что послужило началом углублен-

ного исследования по фотоснимкам погодообразующих процессов. Мелкомасштабные (масштаб 1 : 7 500 000) и среднемасштабные (масштаб 1 : 2 000 000) фотоснимки позволили получить ряд интересных материалов для мелко- и среднемасштабного картографирования, изучения природной среды, а также для исследования геоморфологических объектов.

В дальнейшем программой всех советских орбитальных станций «Салют» неизменно предусматривалось фотографирование поверхности суши и акватории Мирового океана.

Так, по снимкам, сделанным с борта станции «Салют-3» П. П. Поповичем и Ю. П. Артюхиным, удалось определить 67 структур, перспективных для разведки нефти и газа, и 11 крупных региональных разломов земной коры, на пересечении которых возможно залегание полезных ископаемых.

Большой объем работ по фотографированию Земли выполнили два экипажа орбитальной станции «Салют-4». На борту этой станции размещалось более десяти фотоаппаратов различного назначения. Один из них — четырехкамерный аппарат ФМС предназначался для продолжения экспериментов по многозональному фотографированию в целях отработки научно-технических требований к перспективной бортовой аппаратуре и получения информации в интересах науки и народного хозяйства. Результаты экспериментов с ФМС показали безусловную ценность многозональных съемок для изучения природных ресурсов и были использованы при создании в последующем аппаратуры МКФ-6, прибора синтеза многозональных изображений МСП-4, а также при разработке ряда методических вопросов.

Большой объем работ на борту «Салюта-4» выполнен широкоформатной камерой многоцелевого назначения КАТЭ-140. Аппарат КАТЭ-140 изготовлен специально для использования на пилотируемых космических объектах. Он представляет собой высокоточную автоматическую топографическую фотокамеру, имеющую объектив с фокусным расстоянием 140 мм и формат кадра 180×180 мм. По периметру кадра размещены специальные оптические устройства, фиксирующие координаты центра снимка и позволяющие контролировать деформацию используемого светочувствительного материала.

Командный прибор аппарата позволяет задавать любые возможные интервалы съемок. Изображения, полученные аппаратом КАТЭ-140, пригодны для определения координат точек земной поверхности, измерения высот гор, определения площадей, например занятых лесами, водохранилищами, и т. п. На одном снимке может быть заснято около 200 тыс. км² земной поверхности, а за 5 мин. полета — более 1 млн. км². Заметим для сравнения, что площадь, покрытая одним кадром из космоса, требует отснять 2000 кадров с современного аэросъемочного самолета. Это сравнение показывает, насколько выгоднее применять космическую съемку для мелкомасштабных карт, чем аэросъемку. Многозональная

и разномасштабная съёмка с борта «Салюта-4» позволила получить объем информации, которым воспользовались около 400 организаций различных министерств и ведомств. При этом решались не только научно-методические, но и ряд конкретных прикладных задач.

В песках Средней Азии по космическим снимкам велся успешный поиск пресной воды. На основе фотоснимков, полученных с борта «Салюта-4» фотокамерой КАТЭ-140 (масштаб около 1 : 2 400 000), а также многозональных снимков с фотосистемы ФМС-80 (масштаб около 1 : 4 200 000) была составлена уникальная космофототектоническая карта Арало-Каспийского региона масштаба 1 : 2 500 000, которая послужила основой для выполнения комплексной программы изучения и анализа тектоники и неотектоники района, проведения нефтегазогеологического районирования. При дешифрировании этой фотокарты [2] были установлены основные черты глубинной структуры, контуры главных тектонических элементов и наиболее протяженные региональные разломы. Одновременное использование увеличенных космических снимков позволило детализировать геологическое строение региона, вплоть до выделения складок и разрывных нарушений, связанных с формированием локальных поднятий.

Еще один шаг в решении ряда прикладных задач, связанных с исследованием природы нашей планеты, сделан во время работы долговременной научной орбитальной станции «Салют-5». С 7 июля по 23 августа 1976 г. и с 8 по 24 февраля 1977 г. на «Салюте-5» работали две экспедиции космонавтов. Среди большого количества различных экспериментов особое значение имели проводившиеся по существу впервые комплексные визуальные наблюдения в интересах народного хозяйства и охраны природы. В разработке программы этих наблюдений, созданной в Госцентре «Природа», наряду с учеными приняли участие также специалисты различных отраслей народного хозяйства. Поэтому программа имела практический уклон. Все четыре космонавта (Б. В. Волынов, В. М. Жолотов, В. В. Горбатко, Ю. Н. Глазков) прошли, хотя и кратковременную, теоретическую и практическую подготовку по тем вопросам космического природоведения и характеристикам исследуемых природно-территориальных комплексов нашей страны, которые были включены в программу. В процессе визуальных наблюдений космонавты пользовались не только иллюминаторами станции, но и специальным оптическим визирным устройством с переменным увеличением, причем наблюдаемое в визире изображение фиксировалось одним из фотоаппаратов станции.

В связи с тем что первая экспедиция проводила наблюдение в летний период, а вторая — зимой, решались задачи, связанные с сезонными особенностями изучения ландшафтов. Выяснилось, в частности, что если рассматриваемые объекты закрыты снежным покровом средней и высокой мощности, то их наблюдения затруднены, а при слабом снежном покрове многие геологические образо-

вания и рельеф, наоборот, наблюдались особенно четко и контрастно.

Программа работ на станции «Салют-5» позволила накопить важный опыт комплексных космовизуальных наблюдений. В частности, были установлены наиболее хорошие условия для наблюдения природной среды в зависимости от положения Солнца, рельефа местности и направления на рассматриваемые объекты. Среди решенных задач следует отметить изучение протяженности Севанского разлома в структуре Кавказа, дельты р. Волги, ряда мутьевых выносов рек, наложенных волн в океане, речных разливов в лесных зарослях и др. Были получены данные для дальнейшего совершенствования космовизуальных наблюдений как в части решаемых задач, так и по подбору инструментальных средств, сопровождающих наблюдения, а также по методам и формам предполетной подготовки космонавтов.

Большой объем многозонального фотографирования поверхности Земли проводился в процессе полета космического корабля «Союз-22». Для съемки использовалась разработанная и изготовленная в ГДР на народном предприятии «Карл Цейс Йена» по техническому заданию АН СССР и АН ГДР шестизональная камера МКФ-6. В ней использовался объектив типа «Пинотар 4/125». В конструкцию входят шесть таких объективов с затворами, механизмом компенсации сдвига изображения и различными датчиками телеметрических данных, шесть кассет с механизмом перемотки пленки, блок электроники, крепежное кольцо, пульт управления фотоаппаратурой (для установки выдержки, скорости компенсации сдвига изображения, степени перекрытия и для пуска цикла съемки), резервный пульт управления. МКФ-6 позволяет проводить многозональное фотографирование в шести участках спектра в диапазоне длин волн 0,46—0,89 мкм. Это достигается установкой перед каждым объективом узкополосных светофильтров, причем они выбраны так, чтобы их полосы пропускания не перекрывались. При этом в четырех каналах использовалась изопанхроматическая черно-белая пленка, а в двух других — инфракрасная. Изображения во всех каналах точно соответствуют одно другому. Это обеспечивается высокой синхронностью выдачи командных импульсов на затворы всех шести камер. На каждом кадре размером 81×56 мм (70-мм неперфорированная пленка) с высоты 250—260 км фотографировалась территория площадью около 19 тыс. км², причем МКФ-6 установлен на корабле таким образом, что длинная сторона кадра всех камер направлена поперек трассы полета, что позволяет снимать полосу на поверхности Земли шириной около 160 км.

Так как спектральная яркость природных объектов, соответствующая фототону их изображения на снимке, является основным признаком, по которому судят о состоянии тех или иных природных образований, важно иметь некоторый эталон, который позволит выполнить фотометрическую обработку снимков. Такой

эталон яркости (сенситометрический клин) впечатывается вдоль одной из сторон каждого кадра. Для обработки снимков, полученных с помощью МКФ-6, изготовлен многоспектральный проектор МСП-4. Этот оптический прибор позволяет из узкозональных снимков получать увеличенные в 5 раз изображения. МСП-4 используется и для визуального анализа изображения непосредственно на экране.

Летчики-космонавты СССР В. Быковский и В. Аксенов, используя МКФ-6, отсняли большое количество снимков территории нашей страны и ГДР. По этим снимкам главным образом исследовалась природная среда в целях выявления техногенных нарушений и загрязнения ее промышленными отходами. Кроме того, по ряду снимков изучались сельскохозяйственные угодья и лесные массивы. Интересные результаты получены по съемкам солнечных бликов на отдельных участках морских акваторий. На этих снимках хорошо просматриваются структура волн и загрязнения акватории нефтью.

Запуск и успешная работа космического корабля «Союз-22» стали еще одним свидетельством развития многостороннего сотрудничества социалистических стран в области космических исследований по программе «Интеркосмос».

По предложению Советского Союза в 1976 г. в Москве делегации социалистических стран—участниц «Интеркосмоса» рассмотрели вопрос об участии граждан НРБ, ВНР, ГДР, Республики Куба, МНР, ПНР, СРР и ЧССР в пилотируемых полетах на советских космических кораблях и станциях начиная с 1978 г., а также вопросы, связанные с порядком отбора кандидатов в космонавты и организацией их подготовки в Советском Союзе к космическим полетам. Выполняя это соглашение, наша страна осуществила 29 сентября 1977 г. запуск долговременной орбитальной научной станции второго поколения, предназначенной наряду с другими целями для посещения и работы на ней международных экспедиций. Отличительная особенность этой станции — наличие двух стыковочных узлов, что позволило в течение 1977—1978 гг. осуществить с «Салютом-6» десять стыковок. Причем, кроме пилотируемых транспортных кораблей «Союз», со станцией впервые стыковались автоматические транспортные корабли «Прогресс», доставлявшие на ее борт большое количество разнообразных грузов: сменное оборудование, свежие фотоматериалы, новые научные приборы, элементы системы жизнеобеспечения, топливо для бортовых двигателей и др.

С 22 декабря 1977 г. по 15 марта 1978 г. и с 15 июня по 2 ноября 1978 г. на долговременной орбитальной станции «Салют-6» выполнялся широкий комплекс научных экспериментов, среди которых важное место занимали исследования по изучению природных ресурсов Земли и контролю окружающей среды. Летчики-космонавты СССР Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко на протяжении 96 суток полета (первая основная экспедиция) и В. В. Кова-

ленок и А. С. Иванченков в течение 140 суток (вторая основная экспедиция) вели фотографирование и визуально-инструментальные исследования природной среды в соответствии с программой народнохозяйственных экспериментов, разработанной в Госцентре «Природа».

Успешному проведению программы исследований предшествовал длительный подготовительный период. В 1975 г. на основе анализа фотоинформации, полученной во время полета орбитальной станции «Салют-4», был уточнен аппаратный состав и сортамент пленок для использования на станции «Салют-6». Одновременно на основе опыта предшествующих полетов, и в особенности экипажей станций «Салют-4» и «Салют-5», был сформирован облик программы визуально-инструментальных наблюдений. В первой половине 1977 г. были определены основные направления визуально-инструментальных исследований и объекты изучения, включая ключевые участки и полигоны в южных районах территории СССР. В это же время в Центре подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина в тесном контакте со специалистами Госцентра было завершено создание специализированной учебно-методической лаборатории космического природоведения, оснащенной самыми совершенными техническими средствами обучения, и развернута подготовка экипажей к выполнению сложной программы народнохозяйственных исследований. Значительное место здесь отводилось учебно-демонстрационным полетам на самолете-лаборатории Ту-134 над районами-полигонами и основными природными зонами нашей страны.

На борту орбитальной станции «Салют-6» для фотографирования поверхности Земли использовались следующие фотоаппараты: стационарная широкоформатная прецизионная камера КАТЭ-140 (формат кадра 180×180 мм, фокусное расстояние объектива 140 мм, полоса обзора с орбиты станции около 440 км); стационарная модернизированная многозональная камера МКФ-6М (формат кадра 80×55 мм, фокусное расстояние объектива 125 мм, полоса обзора на местности около 225 км); ручная камера (формат кадра 55×55 мм, два сменных объектива с фокусным расстоянием 80 и 150 мм); ручная камера «Пентакон — СИКС-М» (формат кадра 60×60 мм, три сменных объектива с фокусным расстоянием 50, 80, 180 мм).

За время эксплуатации станции в пилотируемом режиме всеми фотоаппаратами снято свыше 6 тыс. сюжетов (или около 28 кадров) в различных зонах спектра на различные пленки.

11 сентября 1978 г. аппаратом КАТЭ-140 впервые выполнена конвергентная съемка — фотографирование одной и той же территории с различных точек орбиты. Объектом исследований была выбрана часть территории Узбекской ССР, примыкающая к Кайраккумскому водохранилищу. 26 октября конвергентная съемка была проведена повторно. Эти эксперименты позволяли повысить точность пространственного определения рельефа местности.

На борту станции «Салют-6» осуществлен широкий комплекс целенаправленных экспериментов по визуально-инструментальным исследованиям природной среды. Эти эксперименты проводились с использованием оптических средств наблюдений, специальных бортовых журналов визуальных наблюдений, атласов цветности, навигационных карт и др.

Был поставлен эксперимент по определению разрешения зрения космонавтов и количественной оценке их наблюдательности. С этой целью исследовались элементы природной среды переменной яркости и контраста. Основные тестовые объекты были выбраны на территории Средней Азии, где в этот период находились полевые экспедиции. Анализ сообщений космонавтов показывает, что реальные возможности зрительного различения мелких форм земной поверхности превосходят ожидаемые. Например, космонавты отмечали наличие термокарстовых воронок на закрытых моренным чехлом языках ледников Бивачный и Гармо и пропадание части их к концу лета. Они подробно описывали положение мелких водотоков в горных долинах.

Экипаж первой основной экспедиции больше других природных объектов наблюдал вулканы, лесные пожары, ледники, айсберги, мутьевые выносы рек, морские течения, цветовые аномалии в океане, пыльные бури, необычные формы ландшафта. Космонавты второй основной экспедиции больше всего занимались изучением морской поверхности и мелководий, горных ледников, крупных геологических объектов, тропических циклонов, прибрежной полосы, океана, некоторых необычных оптических явлений в атмосфере.

Много внимания космонавты уделили наблюдениям и фотографированию разломов земной коры. Экипаж четко фиксировал главные разломы Чингиза, Тарбагатая и Джунгарских Ворот на востоке Казахстана, гигантский разлом на северо-западе от оз. Зайсан протяженностью около 2000 км, и многие другие. Космонавты обратили внимание на ряд ранее неизвестных линеаментов в Восточном Прикаспии. В районе Южного Урала замечен участок с повышенной трещиноватостью, к которой могут быть приурочены рудные месторождения. Экипаж много и с большой пользой для науки изучал из космоса складчатые структуры в различных регионах. Так, например, В. Коваленок и А. Иванченков отмечали, что с орбиты отчетливо видно, как Гималаи, Памир и Кавказ образуют единую геологическую структуру глобального порядка, что позволяет делать широкие геологические обобщения. На территориях, закрытых чехлом поверхностных отложений, фиксировались крупные куполовидные структуры, которые, как известно, перспективны на нефтегазоносность. Ю. Романенко и Г. Гречко собрали богатый материал по кольцевым структурам, которые часто сопряжены с месторождениями полезных ископаемых. В. Коваленок и А. Иванченков продолжили эту работу, проводя наблюдения и фотографирование кольцевых структур в других сезон-

ных условиях, что оказалось существенным для районов, в значительной мере занятых посевами сельскохозяйственных культур (например, Юг Украины).

Много интересных данных космонавты получили, наблюдая действующие вулканы и динамику извержений. Под наблюдением находились вулканы Южной и Центральной Америки, Этна в Сицилии, вулканы на юге Японии, в Гватемале и на Канарских островах.

Много внимания космонавты уделили наблюдениям пожаров в различных районах нашей планеты, а также ветропесчаных и пыльных бурь. В частности, наблюдалась пыльная буря, распространившаяся от п-ова Мангышлак через Каспийское море, а в конце полета удалось проследить развитие межконтинентальной пыльной бури, которая зародилась в районе пустыни Сахары в Африке и достигла берегов Америки. Ценность подобных наблюдений, проведенных впервые, в том, что ни наземными, ни самолетными средствами их провести невозможно.

Большое количество информации получили космонавты в области океанологии. Анализ морских течений, исследование оптических неоднородностей акваторий, наблюдение ледового покрова и отдельных айсбергов, определение распространения мутьевых выносов рек и загрязнений — все это служит бесспорным свидетельством большой перспективности специальной постоянно действующей космической службы океаносферы с борта пилотируемых станций. Особо следует отметить наблюдения в интересах морского рыболовства. По цветовым и оптическим контрастам поверхности открытых вод океана космонавты вели поиск районов, богатых планктоном, крилем и рыбой. Причем не только были получены важные научные результаты, но и сделан ряд практических выводов. Так, информация от экипажа по Курильскому району (в котором наблюдались своеобразные цветовые контрасты) была передана объединенной рыбопромысловой экспедиции «Дальрыба», работавшей в этом районе. Это позволило обнаружить богатые скопления промысловых рыб. Оказалось, что сила контраста отвечает густоте скоплений.

Работа космонавтов «Салюта-6» показала, что возможно эффективное взаимодействие экипажей орбитальных станций и поисковых судов Министерства рыбного хозяйства СССР.

Ряд интересных наблюдений провели космонавты по изучению эффекта увеличения «атмосферной линзой», который создается при определенном состоянии атмосферы и низких углах Солнца.

Наряду с основными экипажами станции «Салют-6» свой вклад в изучение Земли внесли также экспедиции посещения — летчики-космонавты СССР В. А. Джанибеков, О. Г. Макаров, А. А. Губарев, В. Ремек (ЧССР), П. И. Климук, М. Гермашевский (ПНР), В. Ф. Быковский, З. Йен (ГДР). Так, например, с 28 августа по 2 сентября 1978 г. во время проведения третьей международной экспедиции с участием космонавта ГДР Зигмунда Йена выполнен

эксперимент «Биосфера», программа которого разработана в Государственном научно-исследовательском и производственном центре «Природа» (СССР) и Центральном институте физики Земли (ГДР). Это — эксперимент по визуально-инструментальному исследованию природной среды в интересах изучения гео- и биосферы. Получен ряд интересных данных и несколько сот фотографий земной поверхности и акватории Мирового океана, которые используются при анализе техногенных нарушений ландшафтов, водного и воздушного бассейнов, в океанологии, геологии и метеорологии.

Успешная эксплуатация научно-исследовательского космического комплекса «Салют-6»—«Союз»—«Прогресс» продемонстрировала огромные возможности изучения природы нашей планеты с космических высот в интересах и на благо человека. В недалеком будущем, когда дистанционное зондирование Земли в гораздо большей степени, чем сегодня, будет использоваться приборы, работающие в инфракрасном диапазоне и радиодиапазонах, эти возможности существенно возрастут. История развития советской космонавтики убедительно показывает, что задачи природоведения занимают все большее и большее место в программах пилотируемых полетов. На основе данных, получаемых с орбиты, успешно развивается, получает признание, дает практические результаты новая отрасль знаний — космическое природоведение. Дистанционное зондирование Земли из космоса позволяет реализовать новые принципы изучения Земли. Один из них — постановка исследований по схеме «от общего к частному». Раньше по традиционным методам производился сбор информации в результате точечных наблюдений, последовательного прослеживания отдельных явлений или фаз их развития, после чего наблюдения обобщались и выявлялись закономерности. Зондирование из космоса позволяет вначале вскрыть общие закономерности, например размеры и динамику циклонических процессов в атмосфере, картину разломной тектоники и т. д., и на основе общих закономерностей сделать практические выводы — сформировать прогноз погоды, наметить и локализовать наиболее вероятные районы для обнаружения полезных ископаемых и т. п. На основе огромной обзорности космических съемок, возможности мгновенной фиксации изображений больших по площади территорий представляется возможным широко использовать принципы аналогии для дешифрирования искомым объектов. Поскольку изображения больших площадей земной поверхности из космоса могут быть получены в строго одинаковых условиях, распознав один объект, можно распространить его признаки на всю исследуемую территорию и выявить на ней, например, участки леса, пораженные вредителями, структуры, перспективные на нефть и газ, участки с запасами кормовых трав и т. д. Эта особенность дистанционного зондирования позволяет провести в короткие сроки и при сравнительно малых

затратах инвентаризацию природных ресурсов страны в целях выявления еще не исследованных естественных богатств. Работы по инвентаризации природных ресурсов целесообразно начать с создаваемых вновь и развивающихся территориально-производственных комплексов, где особенно важно заранее взвесить природный потенциал территории.

Важной областью космического природоведения должны стать планомерные наблюдения за динамикой природных процессов, влиянием деятельности человека на состояние и развитие окружающей среды. Такие исследования позволят своевременно принимать меры к восстановлению и воспроизводству природных богатств, предотвращать пагубные последствия антропогенных воздействий на воздушный и водные бассейны, растительность и животный мир, принимать эффективные меры к охране природы. Системы исследования природных ресурсов станут в недалеком будущем постоянно действующими и всепогодными, а космическое природоведение — неотъемлемой частью науки и практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Денисов Н. Н.* На берегу Вселенной. М.: Машиностроение, 1970, с. 18.
2. Космофототектоническая карта Арало-Каспийского региона. Масштаб 1 : 2.500.000. М.: ГУКГ, 1978.

*

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ ЛОКОМОЦИОННОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА КАК СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

А. П. БЕССОНОВ, Д. Ц. БАЛЬЖАНОВ, Г. Г. ЛЕВИЦКИЙ,
А. Я. ПОГРЕБНЯК, Н. В. УМНОВ

Проблема исследования и освоения иных планет связана в первую очередь с работой системы автоматических устройств, действующих как в непосредственной близости от планеты, так и на ее поверхности и собирающих необходимую информацию. Это вызывает необходимость разработки специальных передвижных экипажей—машин, которые можно было бы использовать для транспортных целей, для сбора информации или в качестве шасси для технологических орудий. При этом естественным представляется желание иметь экипаж с возможно большей проходимостью. С ее увеличением облегчается проблема выбора трассы робота, а также число целей, достижимых роботом. При проведении же некоторых типов работ, например спасательных, когда ставится задача пройти в определенную точку местности «любой ценой», проходимость автомата является определяющим свойством.

Поэтому должен быть понятен интерес исследователей к новым типам движителей, дающим увеличение проходимости транспортного средства, по сравнению, например, с традиционным колесным экипажем, и в первую очередь к шагающим типам движителей.

По проходимости шагающий движитель имеет преимущество перед колесным или гусеничным типом движителей [1], однако сложилось мнение, что по сложности управления шагающая машина значительно превосходит колесную [2]. По крайней мере большинство исследователей предполагают для управления шагающим аппаратом иметь некоторую бортовую ЭЦВМ или специализированный аналоговый вычислитель [3]. Существует тип шагающего движителя, не требующий для управления вычислительной техники и в то же время обладающий значительной величиной адаптации и, следовательно, высокой проходимостью. Это ортогональный движитель [4]. Не останавливаясь на подробном перечислении всех свойств ортогонального движителя, отметим только присущую ему экономичность по сравнению с другими типами шагающих движителей, а также отсутствие каких-либо функциональных преобразователей и следящих систем в приводах. Это последнее свойство и позволяет организовать работу ноги без вычислительной техники. Отсутствие необходимости в вычислительной технике на низших уровнях управления шагающими движителями позволяет переосмыслить все построение

шагающего устройства. В частности, следующий уровень — уровень организации походки также можно выполнить без ЭВМ. Походку — одну или несколько — следует назначить. Однако так как походка будет определять порядок изменения структуры системы «корпус робота — ноги — грунт», вследствие того что в процессе ходьбы ноги робота, опускаясь на грунт или отрываясь от него для переноса в исходное для нового шага положение, попеременно входят в состав замкнутых или разомкнутых кинематических цепей, то выбрать походку можно лишь после предварительного анализа.

Сравнение походок шагающих аппаратов по критерию статической устойчивости проведено, например, в работе [5], в которой показано, что так называемые волновые симметричные походки имеют несомненное преимущество перед иными типами походок по запасу устойчивости. Однако другие критерии сравнения могут дать преимущества и неволновым походкам. Поэтому свойства различных типов походок должны быть подробно изучены. В представляемой работе рассмотрены три вопроса, связанные с изучением и сравнением походок шестиногих шагающих роботов. В первой части дан метод наглядной записи и изучения походок — метод топографических диаграмм (ТД); во второй части рассмотрен метод неравенств для выявления областей устойчивости некоторых видов походок; в третьей части проведено сравнение волновых походок по их адаптивным возможностям.

В работе рассматриваются только регулярные установившиеся походки. Работа ног характеризуется набором параметров, из которых важнейшим является коэффициент режима γ — отношение времени опорной фазы ноги к времени цикла работы ноги, т. е.

$$\gamma = t_p/T.$$

Поскольку рассматривается регулярная ходьба, то время цикла работы ноги T у всех ног одинаково, хотя t_p и, следовательно, γ могут в принципе быть разными у разных ног.

Изучается шестиногий аппарат с линейным расположением ног по бортам, как это схематично показано на рис. 1. На этом рисунке прямолинейные отрезки — треки изображают геометрическое место положений опорных точек ног относительно корпуса. Положение ноги на треке (позиция P) характеризует взаиморасположение ног. В любой момент времени шесть параметров P_i ($i = 1 \dots 6$) полностью определяют расположение ног. Позиция изменяется от 1 до 0, причем положения ноги в позициях 1 и 0 совпадают вследствие цикличности работы ноги.

В процессе ходьбы ноги периодически ставятся на грунт и отрываются от него, поэтому за цикл ходьбы неоднократно меняется набор ног, стоящих на грунте, меняется состояние или поза [6]. Число различных поз шестиногих устройств ограничено, при этом разные походки имеют разные наборы поз. Некоторые

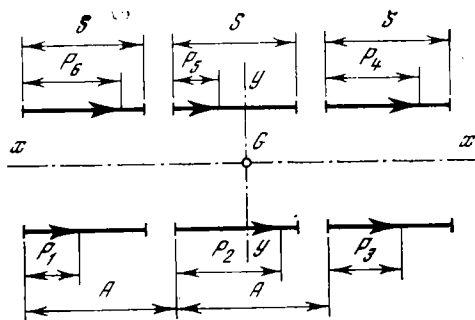


Рис. 1

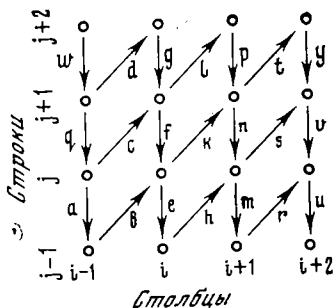


Рис. 2

позы, изучаемые отдельно, могут оказаться неблагоприятными по какому-либо критерию, поэтому походки, в которых встречаются эти неблагоприятные позы, не следует использовать. Такой выбор нетрудно сделать, если построить обобщенное семейство всех походок, так называемую топографическую диаграмму (ТД). С помощью ТД можно не только записать походку, но и выявить и их общее число, а также «увидеть» походку, т. е. наглядно представить себе последовательность поз и состояний в процессе ходьбы.

Топографическая диаграмма представляет собой упорядоченный набор точек — состояний и систему разрешенных путей, связывающих эти точки. Иными словами, ТД — это определенная разновидность ориентированного графа.

Точки в ТД упорядочены по строкам и столбцам, а пути связывают точки одного столбца и точки соседних строк и столбца «по диагонали слева направо и снизу вверх». Условно это можно записать как связь $(i, j) \rightarrow (i, j-1)$ и $(i, j) \rightarrow (i+1, j+1)$. Пример системы точек и путей показан на рис. 2. Можно сформулировать ряд правил, связывающих точки и пути ТД с состояниями и опусканием (отрывом) ног: 1) все точки одной строки ТД представляют состояния с одинаковым количеством опорных ног; 2) на любом пути, связывающем две соседние точки, происходит изменение состояния на одну ногу; 3) все пути ориентированы, т. е. переход от состояния к состоянию по ним возможен только в указанном направлении; 4) вертикальные пути (a, g, f, e, p, n, m на рис. 2) соответствуют опусканию одной ноги; 5) диагональные пути (b, c, d, h, k, l на рис. 2) соответствуют отрыву одной ноги; 6) количество ног в состояниях $j+1$ строки на единицу меньше, чем в состояниях j строки; 7) Диагональные пути, расположенные на одной вертикали (b, c, d на рис. 2), соответствуют отрыву одной и той же ноги; 8) вертикальные пути, расположенные на одной диагонали (a, f, p на рис. 2), соответствуют опусканию одной и той же ноги. Размер ТД для ше-

стиногого устройства — 7 строк и 6 столбцов, причем первая и последняя строки сплошь состоят из одинаковых поз: в первой — все 6 ног находятся на земле, а в верхней — все ноги в воздухе.

Походку можно представить себе как движение от точки к точке в ТД по любым путям в разрешенных направлениях. При этом длина цикла ходьбы — 12 точек или 12 путей.

Для симметричных статически устойчивых походок можно строить только часть ТД, так как строки с позами, содержащими одну, две ноги, как и безопорная поза, исключены, как не дающие возможности организовать статическую устойчивость, а состояния в точках 1, 2, 3 совпадают с состояниями точек тех же строк для столбцов 4, 5, 6 соответственно с точностью до симметрии. Поэтому для шестиногой симметричной ходьбы, т. е. когда работа ног одного борта сдвинута на полцикла, ТД содержит 4 строки и 4 столбца, причем состояния, содержащиеся в последнем столбце, симметричны относительно продольной оси состояниям первого столбца. Рис. 2 по количеству строк и столбцов соответствует ТД для шестиногой симметричной ходьбы. Не раскрывая сейчас, какие же именно состояния содержатся в точках ТД, оценим в общем виде число возможных походок, т. е. число возможных путей по диаграмме ТД, связывающие две точки одной строки столбцов 1 и 4. Такой способ подсчета возможных путей носит в комбинаторике название метода траекторий [7].

Таким образом, требуется определить число различных траекторий длиной 5 единиц из начальной точки в конечную, расположенную на строку ниже. Если считать ТД неограниченно продолженной вверх и вниз, то число траекторий найдется по формуле

$$L = \frac{x!}{\left(\frac{x+y}{2}\right)! \left(\frac{x-y}{2}\right)!} \quad (2)$$

Метод траекторий позволяет учесть также ограниченность поля ТД. Проведя соответствующие подсчеты, получим $L = 18$. Таким образом, на ТД для симметричной шестиногой ходьбы возможны 18 различных траекторий, т. е. 18 различных невырожденных походок, походок без совпадения каких-либо событий. Все они показаны на рис. 3. На нем точки состояний ТД находятся в точках пересечения прямых линий.

Удобно при построении ТД изображать состояние графически, в виде условной схемы позы. В этом случае для любой траектории рис. 3 можно представить последовательность поз. На рис. 4 приведен пример топографической диаграммы, построенной для порядка работы ног — 142635, где цифры — номера ног по рис. 1. Передвигаясь по какой-либо траектории по ТД от позы к позе, можно наглядно представить себе последовательность смены состояний и тем самым качественно охарактеризовать выбранную походку.

При аналитическом изучении походка шестиногого аппарата

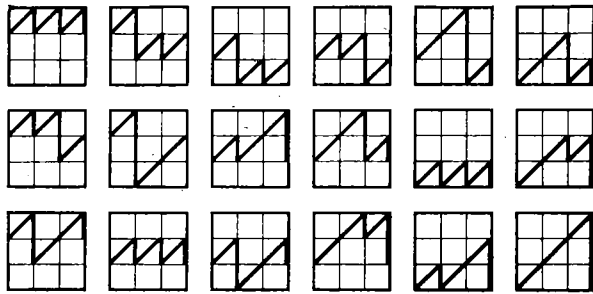


Рис. 3

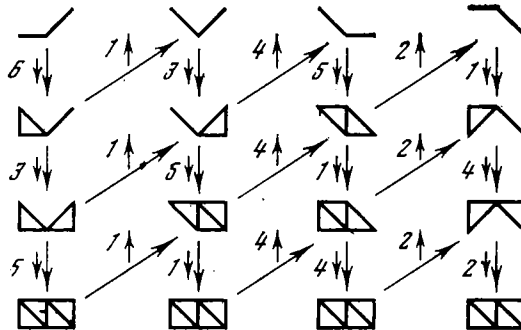


Рис. 4

описывается в общем случае 11 параметрами. Кроме шести коэффициентов режима по (1) можно ввести пять параметров, описывающих относительное положение ног, например, связь между позициями ног. В качестве таких параметров выбираем величины Δ_2, Δ_3 — параметры, связывающие работу ног правого борта, и $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ — параметры, связывающие работу ног по каждому поясу. Тогда позиции ног можно выразить через выбранные параметры и позицию одной из ног (например, 1-й — P_1):

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 + \Delta_2, & P_4 &= P_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \lambda_3, \\ P_3 &= P_1 + \Delta_2 + \Delta_3, & P_5 &= P_1 + \Delta_2 + \lambda_2, & P_6 &= P_1 + \lambda_1. \end{aligned} \quad (3)$$

При ходьбе в результате последовательности 12 событий, подъема и постановки шести ног ($E = E_1, E_2, \dots, E_{12}$) возникает последовательность поз $\Pi = \Pi_1, \dots, \Pi_{12}$.

В любой момент цикла ходьбы для любого P_1 можно рассчитать по (3) положение ног на треках и тем самым найти расположение ног. Пусть это расположение характеризуется набором шести координат R (6). Если представить себе другую походку, в цикле ходьбы которой встретится такое расположение ног R' (6), при котором все ноги расположены симметрично относительно оси $x - x$ ногам расположения R (6), то эта другая походка носит название сопряженной походки и ее начальные параметры $\Delta'_{2,3}$ и λ'_{1-3} могут быть найдены через параметры основной походки по

уравнениям

$$\begin{aligned}\Delta'_2 &= \Delta_2 + \lambda_2 - \lambda_1, \\ \Delta'_3 &= \Delta_3 + \lambda_3 - \lambda_2; \\ \lambda'_1 &= -\lambda_1, \quad \lambda'_2 = -\lambda_2, \quad \lambda'_3 = -\lambda_3.\end{aligned}\quad (4)$$

Последовательность событий сопряженной походки II равна $E' = \dots E'_1, E'_2, \dots, E'_{12}$, где E'_i — событие, одинаковое с E_i , но происходящее с другой ногой того же пояса. Порядок наступления поз $P' = P_1, P_2, P_3, \dots, P_{12}$ остается неизменным, так как, согласно [6], под позой понимается определенная комбинация ног, стоящих на земле, и позы считаются одинаковыми, если их можно совместить путем вращения вокруг продольной и поперечной осей устройства.

С учетом поперечной оси симметрии устройства можно найти еще две сопряженные походки — III и IV. Одна из них получается при расположении ног, симметричном расположению ног относительно поперечной оси симметрии $y - y$ (см. рис. 4). Позиции ног для III походки найдем через позиции основной походки:

$$P''_i = y - P_j, \quad (5)$$

причем для расчета позиции ноги i необходимо взять позицию ноги j , симметричной относительно $y - y$ ноге i , следовательно, параметры III сопряженной походки будут

$$\begin{aligned}\Delta''_2 &= \Delta_3, & \lambda''_1 &= -\lambda_3, \\ \Delta''_3 &= \Delta_2; & \lambda''_2 &= -\lambda_2, \\ & & \lambda''_3 &= -\lambda_1.\end{aligned}\quad (6)$$

Сопряженная походка III будет обладать последовательностью событий $E'' = \dots E''_{12}, E''_{11}, \dots, E''_1, \dots$, где E''_1 — событие, противоположное по значению событию E_i , и происходит с ногой, симметричной ноге i относительно оси $y - y$. Последовательность поз у такой походки $P'' = \dots P_{12}, P_{11}, \dots, P_1, \dots$, т. е. обратная последовательности поз основной походки.

Найденная по (6) сопряженная походка III имеет еще одну себе сопряженную относительно оси $x - x$ походку — походку IV. Расположение ног ее получится при двойном повороте относительно оси $x - x$ и относительно оси $y - y$ расположения ног основной походки I. Параметры походки IV получим из параметров походки (6) с использованием (4):

$$\begin{aligned}\Delta'''_2 &= \Delta_3 + \lambda_3 - \lambda_2, & \lambda'''_1 &= \lambda_3, \\ \Delta'''_3 &= \Delta_2 + \lambda_2 - \lambda_1; & \lambda'''_2 &= \lambda_2, \\ & & \lambda'''_3 &= \lambda_1.\end{aligned}\quad (7)$$

Походка IV обладает последовательностью событий $E''' = E_{12}''E_{11}'', E_{10}'', \dots, E_1'', \dots$, где E_i'' — событие, противоположное по смыслу E_i , и происходит с ногой, симметричной ноге i при двойном повороте относительно осей $x - x$ и $y - y$. Порядок поз соответствует порядку поз III сопряженной походки $\Pi''' = \Pi'' = \dots \Pi_{12}, \Pi_{11}, \dots, \Pi_1, \dots$.

Сопряженные походки сокращают вычисления при изучении свойств походок, что можно продемонстрировать на примере исследования статической устойчивости шагающего устройства.

Статическую устойчивость будем изучать на динамической модели рис. 1. При этом ноги считаем невесомыми, а вес машины — сосредоточенным в геометрическом центре корпуса G . Задачу нахождения статически устойчивых походок будем решать с использованием метода критических состояний (так как простой перебор затруднителен ввиду большого числа походок), выявляя области параметров устойчивых походок на каждой из всех фаз цикла, границами которых служат моменты подъема и постановки ног шагающего устройства. При этом выявляем вначале походки, устойчивые от опрокидывания назад, а затем походки, устойчивые от опрокидывания вперед.

Для определения походок, устойчивых от опрокидывания назад, нужно рассмотреть состояние ног заднего пояса, т. е. ног 1 и 6. Это необходимо сделать для выявления фаз, в которых возможно нарушение статической устойчивости. Если за начало цикла движения принять момент отрыва ноги 1 (11), то в зависимости от соотношения параметров γ и λ последовательности событий, связанные с постановкой и подъемом ног 1 и 6, могут быть $1 \uparrow 1 \downarrow 6 \uparrow 6 \downarrow$, $1 \uparrow 6 \downarrow 1 \downarrow 6 \uparrow$, $1 \uparrow 6 \uparrow 1 \downarrow 6 \downarrow$, $1 \uparrow 6 \downarrow 6 \uparrow 1 \downarrow$. Здесь цифра означает номер задней ноги, а стрелка указывает на событие: \uparrow — отрыв, \downarrow — постановка. Так как подъем и постановка ноги 1 происходят при $P_1 = 0$ (или, что равносильно, при $P_1 = 1$) и при $P_1 = \gamma$, а подъем и постановка ноги 6 — при $P_1 = 1 - \lambda_1$ и $P_1 = \gamma - \lambda_1$, то можно записать системы неравенств, ограничивающие области параметров, при которых существует та или иная последовательность событий ног заднего пояса:

$$\begin{array}{cccc}
 1 \uparrow 1 \downarrow 6 \uparrow 6 \downarrow & 1 \uparrow 6 \downarrow 1 \downarrow 6 \uparrow & 1 \uparrow 6 \uparrow 1 \downarrow 6 \downarrow & 1 \uparrow 6 \downarrow 6 \uparrow 1 \downarrow \\
 \gamma < 1 & \lambda_1 < 1 & \lambda_1 > 0 & \gamma - \lambda_1 < 0 \\
 \gamma + \lambda_1 > 1 & \gamma - \lambda_1 < 0 & \gamma + \lambda_1 < 1 & \lambda > 0 \\
 \gamma - \lambda_1 > 1 & \gamma + \lambda_1 > 1 & \gamma - \lambda_1 > 0 & \gamma + \lambda_1 < 1
 \end{array} \quad (8)$$

Распределение области параметров на зоны, отвечающие каждой последовательности в соответствии с (8), показано на рис. 5. Так как при $\gamma < 0,5$ в походках обязательно будет появляться фаза, в которой на грунте будет находиться меньше чем три ноги, и статическая устойчивость заведомо не сохраняется, то походку с последовательностью событий $1 \uparrow 6 \downarrow 6 \uparrow 1 \downarrow$ в дальнейшем рассматривать не будем.

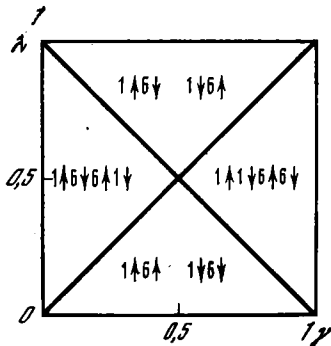


Рис. 5

При последовательности событий $1 \uparrow 1 \downarrow 6 \uparrow 6 \downarrow$ в работе ног 1 и 6 имеются четыре фазы: 1) от $P_1 = 1$ до $P_1 = \gamma$; 2) от $P_1 = \gamma$ до $P_1 = 1 - \lambda_1$; 3) от $P_1 = 1 - \lambda_1$ до $P_1 = \gamma - \lambda_1$; 4) от $P_1 = \gamma - \lambda_1$ до $P_1 = 0$. В фазах 2 и 4 на земле находятся одновременно обе задние ноги, 1 и 6, поэтому устойчивость от опрокидывания назад обязательно сохраняется. В фазах же 1 и 3 одна из ног, 1 или 6, переносится, поэтому для поддержания устойчивости необходимо, чтобы еще одна нога или переднего, или среднего пояса стояла на

грунте, причем так, чтобы прямая, соединяющая опорные ноги, проходила левее проекции центра тяжести устройства. Рассмотрим подробнее фазу 1. Она начинается с момента отрыва ноги 1 при $P_1 = 1$ и длится $(1 - \gamma)$ до постановки ноги 1 при $P_1 = \gamma$, в течение всей фазы в опорном состоянии находится нога 6, и для устойчивости от опрокидывания назад необходимо наличие на грунте ноги 2 или ноги 3. Потребуем, чтобы устойчивость обеспечивалась комбинацией 6—2. Для этого необходимо, чтобы $0 \leq P_2 \leq \gamma$ при $P_1 = 1$ и $P_1 = \gamma$; так как $P_2 = P_1 + \Delta_2$, получим, что

$$\gamma \geq \Delta_2 \geq 1 - \gamma. \quad (9)$$

Если нога 2 отрывается от грунта до окончания фазы 1, то необходимо, чтобы с этого момента и до конца фазы 1 нога 3 находилась на грунте. При этом прямая, соединяющая ноги 6 и 3, должна проходить левее центра тяжести устройства, т. е.

$$0 \leq P_3 \leq \gamma \text{ при } P_1 = 0 \text{ (1), } P_3 \geq 0 \text{ при } P_1 = \gamma; \quad (10)$$

$$P_6 + P_3 \leq \gamma. \quad (11)$$

Решая систему неравенств (10), (11), находим определяющую систему неравенств, ограничивающую область параметров походок, для которых устойчивость от опрокидывания назад сохраняется за счет опорной комбинации 6—2,3:

$$\Delta_2 \leq 1 - \gamma, \quad \Delta_2 + \Delta_3 \geq 1 - \gamma, \quad (12)$$

$$\Delta_2 - \Delta_3 + \gamma - \lambda_1 \geq 0.$$

Найдем теперь походки, у которых в начале фазы 1 нога 2 еще не находится в состоянии опоры и устойчивость назад обеспечивается ногами 6—3,2. Для этого необходимо, чтобы

$$P_6 + P_3 \leq \gamma \text{ при } P_1 = 1, \quad (13)$$

$$P_3 > 0 \text{ при } P_1 = \gamma - \Delta_2.$$

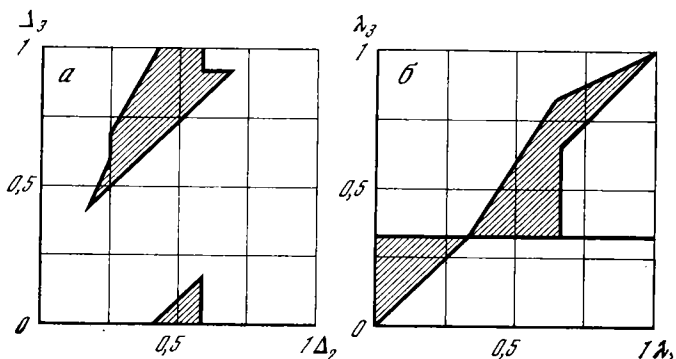


Рис. 6

Из (13) находим систему неравенств, ограничивающую область параметров походок, устойчивых за счет комбинации 6 — 3, 2;

$$\Delta_2 \geq \gamma, \quad \Delta_2 + \Delta_3 - \gamma + \lambda_1 - 1 \leq 0, \quad \Delta_3 \geq 1 - \gamma. \quad (14)$$

И наконец, рассмотрим случай, когда комбинация ног 6—3 на протяжении всего переноса ноги 1 поддерживает устойчивость от опрокидывания назад независимо от состояния ноги 2. Для этого необходимо, чтобы

$$P_6 + P_3 \leq \gamma \text{ при } P_1 = 1, \quad P_3 \geq 1 - \gamma, \quad (15)$$

что дает

$$\Delta_2 + \Delta_3 \leq \gamma - \lambda_1, \quad \Delta_2 + \Delta_3 \geq 1 - \gamma. \quad (16)$$

Рассмотрим статическую устойчивость от опрокидывания назад при переносе ноги 6, т. е. фазу 3. Получение систем неравенств значительно облегчается, если воспользоваться сопряженной походкой II с параметрами, рассчитываемыми по (4). Иными словами, в данном случае мы как бы меняем местами ноги 1 и 6. Поэтому все выведенные для фазы 1 неравенства (9), (12), (14) и (16) сохраняют свою силу, только параметры Δ и λ следует заменить на параметры сопряженной походки Δ' и λ' , от которых с помощью системы (4) можно вновь вернуться к параметрам Δ и λ , получив тем самым область устойчивости для фазы 2 — переноса ноги 6.

Совершенно аналогично при рассмотрении статической устойчивости от опрокидывания вперед нужно воспользоваться сопряженными походками III и IV по равенствам (6) и (7) соответственно для фаз переноса ноги 3 и ноги 4, используя уже выведенные неравенства (9), (12), (14), (16).

Система неравенств позволяет для любого набора параметров походки оценить ее статическую устойчивость. Вследствие того что параметров походок 6, то изобразить область можно только при фиксированных параметрах, показанных на рис. 6.

Системы неравенств, описывающие область устойчивых походок, как и построенные ранее области статической устойчивости для симметричных походок [5], строго говоря, будут справедливы

ливы только при ходьбе по ровной поверхности, т. е. при условии неизменности коэффициента режима γ , определяемого по (1). При ходьбе реального экипажа в реальных условиях каждая его нога будет иметь свой коэффициент режима. Назовем его фактическим коэффициентом режима γ' данной ноги, отличая от теоретического коэффициента γ , принятого до сих пор. Фактический коэффициент γ' всегда меньше теоретического коэффициента $\gamma' < \gamma$. Чем больше разница между ними, тем больше время опускания ноги на грунт, тем больше величина адаптации данной ноги. Предельно допустимый фактический коэффициент режима γ для каждой ноги может быть определен из условия сохранения статической устойчивости экипажа при ходьбе.

Рассмотрим симметричные волновые походки, обладающие при прочих равных условиях наибольшей устойчивостью [5]. Параметры симметричных походок в соответствии с (3) будут $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,5$, а волновых — $\Delta_2 = \Delta_3 = \delta$. Теоретический коэффициент режима у всех ног одинаков и равен γ . Таким образом, волновые симметричные походки описываются двумя параметрами — γ и δ . Из соображений вычислительного удобства их можно заменить на им равносильные F и Δ :

$$F = 12\gamma + 1, \quad \Delta = 12\delta. \quad (17)$$

Задачей данного исследования было сравнение волновых симметричных статически устойчивых походок по их адаптивной возможности, т. е. по максимально допустимому времени адаптации ног. Для этой цели определялся минимально возможный фактический коэффициент γ' для всех походок из области устойчивости.

Рассмотрим последовательно положение опорных ног, которые они занимают в процессе цикла ходьбы. В зависимости от заданной походки ноги отрываются от грунта в определенной последовательности. Последовательность же их постановок на грунт может измениться, так как в зависимости от рельефа местности постановка любой ноги может задержаться

В зависимости от последовательности отрыва ног вся область устойчивости волновых походок может быть разделена на четыре зоны в соответствии с четырьмя существующими порядками работы ног: а) 123654, б) 142635, в) 153624, г) 145632. Границы раздела зон на области устойчивости волновых походок (рис. 7) — вертикальные линии $\Delta = 3$, $\Delta = 6$ и $\Delta = 9$. Внутри каждой зоны порядок работы ног для любой походки одинаков.

Проверка устойчивости проводилась на модели экипажа по рис. 1. Межцентровое расстояние A было принято равным 12, размах $S = F - 1$. Абсцисса центра тяжести, отсчитанная от левого начала заднего трека, равна $x_{ц.т} = A + (F - 1)/2$.

Предельно допустимое минимальное значение фактического коэффициента режима γ' для каждой ноги определялось из условия сохранения корпуса экипажа статической устойчивости, т. е. из условия того, что проекция центра тяжести экипажа на гори-

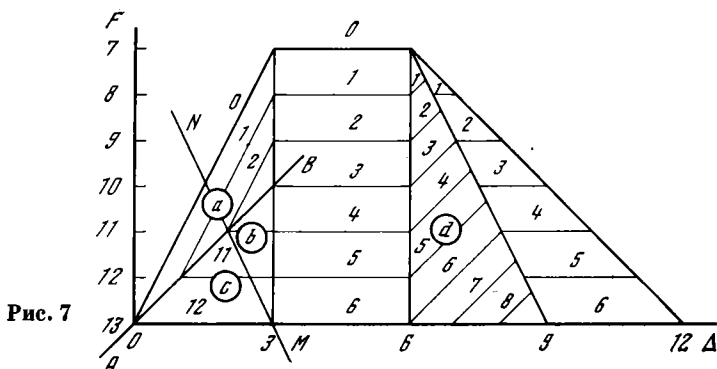


Рис. 7

горизонтальную плоскость не выходит за пределы многоугольника, образованного опорными ногами. Конечно, проверку устойчивости экипажа можно проводить по неравенствам (11) — (16), но в данном частном случае волновых походок проще сделать это непосредственно из геометрических соотношений.

Методику определения γ' продемонстрируем для 1-й (правой задней) ноги для походок первой зоны $0 \leq \Delta \leq 3$. В этой зоне после отрыва первой ноги отрывается нога 2. Опускание первой ноги будем максимально задерживать и определять условия сохранения равновесия экипажа без ноги 1. Как и ранее, в этом случае возникает опасность потери устойчивости от опрокидывания назад. Экипаж будет устойчив, если центр тяжести экипажа к моменту отрыва второй ноги будет находиться внутри опорного треугольника, т. е. должно быть выполнено условие, получаемое из рис. 1, для позиции ног, подсчитанных по (3) для момента отрыва второй ноги, т. е. для $P_2 = 1$:

$$\frac{6 - \Delta + 2A + \Delta}{2} \leq A + \frac{F - 1}{2}. \quad (18)$$

Из этого условия находим, что экипаж устойчив от опрокидывания назад для всех походок с параметром $F \geq 7$, т. е. практически для всех походок этой зоны.

После отрыва второй ноги у походок первой зоны отрывается третья нога. Экипаж будет устойчив только в том случае, если к моменту отрыва третьей ноги вторая нога уже успела опуститься на грунт, т. е. должно быть выполнено следующее условие:

$$\tau_3 \geq \tau_2, \quad (19)$$

где $\tau_3 = 2\Delta$ — момент отрыва третьей ноги, отсчитанный от момента отрыва первой ноги; $\tau_2 = \Delta + 13 - F$ — момент опускания второй ноги. Условие (19) будет выполнено для тех походок, параметры которых удовлетворяют неравенству $F \geq 13 - \Delta$.

Для всех походок из области a первой зоны (см. рис. 7), расположенных выше линии AB , вторая нога не успевает опуститься на грунт к моменту отрыва третьей ноги. Поэтому в области a момент отрыва третьей ноги является предельным временем адаптации первой ноги. Иными словами, к моменту отрыва третьей ноги первая нога должна обязательно опуститься на грунт, так как в противном случае в воздухе окажутся одновременно все три ноги правого борта. Поэтому предельное время задержки опускания первой ноги — от момента ее отрыва до момента отрыва третьей ноги, $t_a = 2\Delta$. Все это время нога может опускаться, например, в глубокую яму, и экипаж при этом не потеряет устойчивости. Зная время предельной задержки — время адаптации первой ноги, можно определить фактический параметр F' , связанный через (17) с фактическим параметром γ' . Для этого необходимо из общего времени цикла работы одной ноги $T = 12$ исключить время адаптации первой ноги, т. е. $F' = 13 - 2\Delta$. Адаптивные возможности первой ноги для этой походки оцениваются разностью между теоретическим и фактическим параметрами походки, т. е.

$$f = F - F'. \quad (20)$$

Соотношение (20) для походок в области a (см. рис. 7) дает

$$f = F - 13 + 2\Delta. \quad (21)$$

Для походок, расположенных ниже линии AB (см. рис. 7), опасный для устойчивости момент наступает при отрыве шестой ноги, когда экипаж опирается на две средние и одну левую переднюю ноги. Из геометрических соотношений рис. 1 устойчивость экипажа к моменту отрыва шестой ноги сохранится, если будет выполнено неравенство

$$\frac{\Delta + 6 + \Delta}{2} \leq \frac{F - 1}{2}, \quad (22)$$

что после преобразований дает

$$F \geq 7 + 2\Delta. \quad (23)$$

Условие (23) удовлетворяется для всех походок, расположенных ниже линии MN (см. рис. 7). Поэтому все походки области c (см. рис. 7) устойчивы к моменту отрыва ноги 6. Из симметрии походок можно сделать вывод, что экипаж, идущий походкой из этой области, будет устойчив даже в том случае, если контакта первой ноги с грунтом не произойдет совсем. Время адаптации будет равно полному циклу, $t_a = 12$; распределение адаптивных возможностей первой ноги в этой области дается соотношением

$$f = F - 12. \quad (24)$$

Для походок, расположенных ниже линии AB , но выше линии MN зоны b (см. рис. 7), неравенство (23) не удовлетворяется, поэтому предельное время адаптации ноги 1 ограничивается моментом

отрыва ноги b ($t_a = 6$). Распределение времени адаптации первой ноги в области b также показано на рис. 7.

Аналогично могут быть построены распределения времени адаптации первой ноги и для других порядков работы ног, т. е. в других зонах области статической устойчивости симметричных волновых походок шестиногих шагающих машин, как это показано на рис. 7.

Анализ рис. 7 показывает, что адаптивные возможности походок не одинаковы. Есть походки, в которых совершенно нельзя задерживать время контакта ноги с грунтом без потери устойчивости экипажа. К таким неблагоприятным походкам относится, например, широко известная походка «трешки» ($\Delta = 6$, $F = 7$), по неровному грунту ходить ей нельзя. С другой стороны, есть походки, особенно благоприятные для ходьбы по бездорожью, в них нога экипажа может значительную часть цикла задерживаться, опускаясь в глубокую яму, без потери устойчивости экипажа. Это походки из областей c и d (см. рис. 7), на них и следует ориентироваться при выборе походки шагающему роботу. Особенный интерес представляют походки зоны c , так как при ходьбе ими первая нога вообще может не коснуться земли, провалившись, например, в слишком глубокую расщелину, и тем не менее экипаж не опрокинется.

В заключение следует отметить, что предварительное изучение свойств походок позволит назначить роботу оптимальную походку, что в сочетании с ортогональной схемой его движителя даст возможность избежать необходимости использовать вычислительную технику на низших уровнях управления роботом, а при наличии на высшем уровне управления человека-оператора вообще обойтись без нее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беккер М. Г. Введение в теорию систем «местность — машина». М.: Машиностроение, 1973.
2. Охотимский Д. Е. и др. Управление интегральным локомotionным роботом: Препринт ИПМ АН СССР № 50, 1974.
3. Девянин Е. А., Ленский А. В., Самсонов В. А. Задача управления движением шагающего аппарата. — В кн.: Биомеханика. Рига. 1975 (Тр. НИИТО; Вып. XIII).
4. Погребняк А. Я. Исследование движения шестиногого шагающего аппарата. — Машиноведение, 1975, № 3.
5. Бессонов А. П., Умнов Н. В. К вопросу о систематике походок шагающих машин. — Машиноведение, 1975, № 6.
6. Умнов Н. В. Позы шестиногих шагающих машин. — В кн.: Алгоритмы анализа и синтеза механизмов. М.: Наука, 1977.
7. Ежов И. И., Скорозод А. В., Ядренко М. И. Элементы комбинаторики. М.: Наука, 1977.
8. McGhee R. B., Jain A. K. Some Properties of Regularly Realizable Gait Matrices. — Mathematical Biosciences, 1972, 13, N 1/2.

**МАТЕРИАЛЫ,
ДОЛЖЕННЫЕ НА СЕКЦИЯХ
VIII ГАГАРИНСКИХ ЧТЕНИЙ**
(краткое содержание докладов)

*

МЕХАНИКА ПОЛЕТА

**ОБ ОДНОМ ИНТЕГРИРУЕМОМ СЛУЧАЕ
ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКА В АППРОКСИМИРОВАННОМ
ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ ЗЕМЛИ**

Е. Л. ЛУКАШЕВИЧ

Рассматривается модель гравитационного поля, потенциал которого учитывает первые восемь зональных гармоник реального потенциала тяготения Земли. Для построения такой модели используются три пары неподвижных центров с комплексно-сопряженными притягивающими массами, расположенными на оси аппликат геоцентрической экваториальной системы координат. С помощью частичных осреднений потенциал модельного поля приводится к виду, допускающему интегрирование уравнений движения разделением переменных по методу Якоби. Полученные в результате интегрирования квадратуры определяют траекторию, которая строго учитывает влияние второй и третьей зональных гармоник и, кроме того, учитывает осредненное на каждом витке воздействие совокупности остальных зональных гармоник, до восьмой включительно. Такая траектория может использоваться при проведении различных проектно-баллистических расчетов.

*

К РАСЧЕТУ СВЕРХЗВУКОВОГО ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ ЛИНИИ ТОРМОЖЕНИЯ ЗАТУПЛЕННЫХ ТЕЛ

Н. А. ЕРМАКОВ

В докладе приводится интеграл уравнений Навье—Стокса, связывающий энтальпию и скорость вязкого теплопроводного газа в плоской, цилиндрической и сферической стационарных ударных волнах. Интеграл получен при числе Прандтля $Pr = 1/2$, отвечающем условиям за ударной волной и приводящем к структуре сжатого слоя, количественно близкой к решению задачи по кинетическому уравнению. Объемная вязкость составляет $2/3$ сдвиговой вязкости, что соответствует экспериментальным данным для воздуха и некоторых чистых газов, обладающих малым временем возбуждения внутренних степеней свободы молекул.

В качестве исходной модели искривленных ударных волн, в которых термодинамические параметры и скорость не зависят от времени, принимается область перехода газа через скорость звука в установившихся двумерном и трехмерном радиальных газовых потоках (источниках). Однако благодаря инвариантности интеграла относительно конфигурации одномерных ударных волн он оказывается справедливым и для течений вблизи линии торможения затупленных тел. С его помощью проанализированы численные схемы решения уравнений Навье—Стокса для задач сверхзвукового вязкого обтекания сферы и цилиндра. Показано, что при числах Кнудсена $Kn \leq 0,03$ эти схемы дают правильные решения без учета релаксационных эффектов в газе. При большей разреженности газа в них необходимо вводить объемную вязкость.

Ранее Беккером рассматривался только случай плоской стационарной ударной волны, для которой данный интеграл был найден при стоксовом предположении о равенстве нулю коэффициента объемной вязкости и выборе остальных коэффициентов переноса по условиям в невозмущенном газе.

*

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (ЛА)

Б. М. ПАНКРАТОВ

При выборе траектории полета ЛА часто необходимо проводить оптимизацию при жестких ограничениях. Соображения прочности аппарата и обеспечение требуемых медико-биологических и комфортных условий работы экипажа делают необходимым рассмотрение подобных ограничений на параметры состояния в виде не-

равенств, таких, как ограничения на величины нормальных и продольных перегрузок, тепловые потоки (даже при минимальном времени их действия), интегральные тепловые потоки при выведении и спуске в атмосфере и т. д. Для сохранения устойчивости ЛА при больших скоростных напорах управление должно осуществляться так, чтобы выполнялись неравенства для некоторых комплексных ограничений. Выбор траектории также должен ограничиваться, исходя из условия безопасности полета, удобства слежения за аппаратом, точности приземления, надежности, характера атмосферных потоков и т. д.

При решении подобных задач может, например, применяться метод нелинейного программирования, используемый в последнее время рядом исследователей для решения задач оптимального управления при жестких ограничениях.

✱

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕПЛООВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Б. М. ПАНКРАТОВ, О. М. АЛИФАНОВ, Н. В. КЕРОВ,
С. В. РУМЯНЦЕВ

Усложнение тепловых экспериментов и возрастание объема экспериментальных работ приводят к необходимости создания автоматизированных систем обработки данных теплового эксперимента (АСОД). В разработанной автоматизированной системе вся обработка разбивается на три этапа.

1. Предварительная обработка — осуществляет сортировку, преобразование, тарировку и вывод полученных экспериментальных данных.

2. Первичная обработка — редактирование в целях выявления и удаления сбойных значений; оценивается дисперсия и интегральная ошибка результатов измерений.

3. Вторичная обработка — решение граничных обратных задач теплопроводности для определения параметров процессов теплообмена.

В состав системы входят ЭВМ «Минск-32», специализированная вычислительная машина и малые ЭВМ «Мир-2».

В настоящее время система находится в опытной эксплуатации.

✱

К ВОПРОСУ О ЕДИНСТВЕННОСТИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О. М. АЛИФАНОВ

При экспериментальном изучении тепловых процессов, сопровождающих работу теплонагруженных агрегатов и систем современных летательных аппаратов, достаточно широкое распространение получили методы обработки информации, основанные на обратных задачах теплообмена. Эти задачи относятся к классу некорректно поставленных и требуют обязательного анализа условий существования, единственности и устойчивости решений. В настоящей работе исследован вопрос об однозначности решения граничной обратной задачи для линейного одномерного уравнения теплопроводности с постоянными и переменными коэффициентами. Рассмотрена достаточно общая постановка, включающая наличие распределенных источников тепла и подвижные границы тела, и показано, что решение задачи о восстановлении граничного теплового режима единственно. Для доказательства использовались метод фиктивных границ, состоящий в специальном преобразовании области независимых переменных, и интегральное представление решений соответствующей прямой задачи теплопроводности.

✱

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПРОГРЕВА МНОГОСЛОЙНОГО ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

А. А. ИВАНОВ

Теплофизические свойства материала слоев предполагаются не зависящими от температуры. В качестве внешних граничных условий используются условия второго рода.

Задача решается с использованием метода Гудмена. После аппроксимации профиля температуры в каждом слое квадратичной функцией исходная система уравнений сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Записывая производные в виде конечных разностей, получаем систему алгебраических уравнений, которая может быть решена методом Халецкого.

В итоге искомое решение находится с использованием простых рекуррентных соотношений.

✱

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. С. ХОХУЛИН

В задачах математического моделирования теплового режима летательных аппаратов (ЛА) находят применение различные подходы к построению тепловых моделей. Выбор той или иной математической тепловой модели обусловлен в первую очередь функциональными особенностями проектируемого аппарата.

В результате анализа и сравнения методов представления математических тепловых моделей в работе показано, что наиболее общей является модель, основанная на решении системы взаимосвязанных нестационарных и в общем случае многомерных уравнений теплопроводности, каждое из которых описывает распределение температуры в отдельном элементе конструкции ЛА.

В задачах теплового проектирования ЛА в настоящее время находят применение численные методы решения систем уравнений теплопроводности, в которых используются элементы теории графов. Эти методы позволяют строить достаточно наглядные и удобные для проектирования тепловые модели ЛА в виде графов. Простота реализации методов на ЭЦВМ позволяет их рассматривать в качестве одного из основных элементов математического обеспечения теплового проектирования ЛА.

*

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПОНИЖЕННОЙ ПЕРЕГРУЗКЕ С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ

В. П. ДРОНОВ, Б. М. ПАНКРАТОВ

В работе теоретически исследуется тепловой режим переохлажденных криогенных жидкостей, находящихся в цилиндрическом баке, в условиях длительного космического полета. Решения охватывают ламинарный режим течения ($Ra_R^* \in [10^4 \div 10^{10}]$, $Ku \in [6,25 \div 12,5]$, $\Theta_s \in [0,01 \div 0,2]$, $L_0 \in [2 \div 4]$, $Fo \in [0 \div 0,1]$, $Pr = 1$, $\bar{q}_w = 1$).

Получено, что кипение жидкости оказывает значительное влияние на локальную структуру полей течений и температуры. Перестройка граничных условий на теплоподводящей поверхности, происходящая при выкипании жидкости, приводит к уменьшению среднего теплового потока, поступающего в жидкость.

Отмечено, что увеличение начальной высоты заполнения L_0 приводит к большой регуляризации течения. Вертикальный про-

филь температуры начиная с момента времени $Fo = 0,4$ для всех $L_0 = 2 \div 4$, за исключением небольших участков у свободной поверхности и дна, не зависит от высоты заполнения и становится «автомодельным» по переменной z/L . Температура жидкости на оси, равная среднемассовой температуре, находится в районе среднего сечения сосуда.

Расчеты позволили определить границы характерных режимов конвекции при кипении, а также количественные характеристики испарения жидкости.

Результаты могут быть использованы для оценки характеристик пассивного хранения криогенных жидкостей.

*

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. А. АРТЮХИН

В работе рассматривается построение вычислительного алгоритма определения температурной зависимости коэффициента теплопроводности теплозащитных материалов по данным температурных измерений. Анализируется модель процесса переноса тепла в материале в виде однородного, одномерного, нестационарного уравнения теплопроводности с граничными условиями I рода. Искомая функция аппроксимируется в виде сплайна, и задача сводится к экстремальной постановке выбора вектора коэффициентов сплайна из условия минимума среднеквадратической невязки.

Для минимизации используются градиентные методы. Расчет градиента целевой функции проводится с использованием сопряженной системы уравнений. Решение полученных краевых задач осуществляется численно с применением неявной схемы конечно-разностной аппроксимации. Методика может быть использована при достаточно произвольном режиме нагрева исследуемого образца.

*

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНОГО ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

В. В. МИХАЙЛОВ

Рассмотрены вопросы построения численного алгоритма определения толщин слоев многослойного теплозащитного покрытия минимального веса с учетом ограничений на допустимые температуры по слоям.

Введением функции штрафа специального вида, исходная задача минимизации с ограничениями типа неравенств преобразуется к задаче без ограничений. Процесс переноса тепла в покрытии описывается одномерным уравнением теплопроводности. Градиенты функции штрафа вычисляются на основе решения задачи, сопряженной к задаче прогрева. Безусловная минимизация преобразованной функции осуществляется методом сопряженных градиентов. Проведенные вычисления подтвердили эффективность алгоритма с точки зрения затрат машинного времени.

*

РАСЧЕТ РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

А. П. ТРЯНИН

В задачах теплового проектирования спускаемых аппаратов различных типов большое место занимают вопросы, связанные с расчетом внешнего теплового нагружения и, в частности, с расчетом состава газовой смеси.

В данной работе предлагается метод расчета равновесного состава газовой смеси с учетом диссоциации и ионизации, который может быть использован для любого количества компонентов и обладает высокой сходимостью. Это достигается заменой переменных C_i на $\ln C_i$ в уравнениях, описывающих состав многокомпонентной газовой смеси (C_i — концентрации компонентов). В результате число линейных уравнений, входящих в систему, возрастает, что благоприятно сказывается на сходимости итерационного вычислительного процесса. Изменение на несколько порядков в величине C_i дает различие в $\ln C_i$ в пределах одного порядка и, как следствие этого, независимость от начального приближения и увеличение сходимости. Данный метод легко программируется, что важно при автоматизации проектирования. Расчеты, проведенные с использованием данного метода, хорошо согласуются с расчетами, проведенными ранее.

О ПЛАНИРОВАНИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕПЛОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С. А. БУДНИК

Рассматривается задача планирования измерений при проведении стендовых и натуральных тепловых экспериментов. Для математического описания исследуемой зависимости $P(x, \tau)$ используется кубический сглаживающий сплайн.

Задача формулируется следующим образом: необходимо определить количество датчиков n и план размещения измерений в пространстве $E_x = \{x_k\}$, $k = 1, 2, \dots, n$ и времени $E_\tau = \{\tau_l\}$, $l = 1, 2, \dots, m_k$ таким, чтобы в результате проведения и обработки этих измерений зависимость $P(x, \tau)$ ($x_a \leq x \leq x_b$, $\tau_a \leq \tau \leq \tau_b$) была определена с заданной точностью при минимальном числе измерений либо с максимальной точностью при заданном числе измерений.

При решении задачи предполагается, что: исследуемый параметр $P(x, \tau)$ является измеряемым параметром; результаты измерений случайны по своей природе и характеризуются дисперсией ошибок измерений; информация о зависимости $P(x, \tau)$ и погрешностях измерений задается априорно.

Задача сводится к нахождению точки минимума квадратичного функционала. Приводятся вычислительный алгоритм решения задачи и результаты расчетов.

*

О ВЛИЯНИИ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ПРИ ЗАМКНУТЫХ ПЕРЕЛЕТАХ

Б. М. ПАНКРАТОВ, Н. В. ТОЛЯРЕНКО, В. А. ЧУМАКОВ

Анализируется влияние закона управления вектором тяги двигательной установки с длительным режимом последействия на выбор проектных параметров межорбитального аппарата, предназначенного для высокоэнергетичных полетов в околоземном пространстве. Проведено сравнение традиционных законов управления по каналам тангажа и рыскания с оптимальным законом управления по указанным каналам управления при варьировании начальных тяговооруженностей аппарата в диапазоне $n_0 = 0,01 - 0,5$. Показаны области применимости упрощенных законов управления, получены аппроксимационные зависимости энергетических

и траекторных характеристик для различных схем межорбитальной транспортировки, которые могут быть использованы в системах автоматизированного проектирования ЛА.

✱

ДИНАМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ АНАЛИЗА ПРОЕКТА ЛУННОГО БУКСИРА С ДВИГАТЕЛЕМ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ

Ю. А. ЗАХАРОВ, М. С. КОНСТАНТИНОВ

Представлены результаты систематических исследований по механике перелета «орбита ИСЗ — орбита ИСЛ» аппаратов с двигателями малой тяги (ограниченной мощности).

Излагается единый подход к построению и оптимизации (синтезу) траекторий полета с малой тягой в системе Земля — Луна. Предлагается некая иерархия приближенных методов расчета траекторий с последовательно повышающейся точностью и возрастающей трудоемкостью вычислений. Даются рекомендации по использованию различных методов в зависимости от целей проводимых расчетов. Приводятся результаты моделирования траекторий и выводы по рациональной схеме перелета.

На основе массовых расчетов на ЭВМ траекторий перелета получено полное решение динамической задачи для «быстрых» перелетов (без выключения двигателя) лунных аппаратов с малой тягой. Решение представлено в виде аппроксимационной зависимости времени перелета от параметров аппарата и параметров начальной и конечной орбит (всего пять параметров).

✱

АНАЛИЗ ДОПУСТИМОЙ ОБЛАСТИ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА И ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРА ПРИ БЫСТРЫХ ПЕРЕЛЕТАХ МЕЖДУ ТОЧКАМИ КРУГОВОЙ ОРБИТЫ

Г. Г. ФЕДОТОВ, Н. А. АЛЕКСЕЕВА

Один из путей проектирования универсального космического аппарата (КА) заключается в разделении проблемы выбора его параметров на две независимые: динамическую — нахождение рациональных программ вектора реактивного ускорения, траекторий движения и выделение допустимой области возможных

значений параметров аппарата и параметров маневра; параметрическую — нахождение рациональных значений проектных параметров аппарата.

В настоящей работе с помощью принципа максимума исследована динамическая часть проблемы проектирования многоцелевого КА, совершающего маневры между точками одной и той же круговой орбиты. Рассмотрены траектории быстрых перелетов с учетом ограничения на величину минимального расстояния от центра Земли.

При решении проблемы выбора значений проектных параметров КА вместо функциональных ограничений удобнее иметь соответствующие ограничения непосредственно на область возможных значений параметров аппарата и параметров маневра. В работе построены допустимые области величин реактивного ускорения (параметр аппарата) и величин углового смещения КА по орбите (параметр маневра) для различных значений высоты начальной круговой орбиты около Земли.

✱

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОГО БУКСИРА

В. Г. ТАРАПАКА

В статье формулируется задача выбора рациональных параметров системы космических буксиров, предназначенной для выполнения заданной совокупности маневров. Критерий эффективности формируется из условия обеспечения минимальных затрат на осуществление всей программы. Анализ критерия показывает, что локальные минимумы его совпадают с решениями, оптимальными для отдельных маневров из заданной совокупности. Таким образом, для любых космических программ оптимальное решение можно найти методом перебора всех возможных локальных минимумов. При этом число просматриваемых вариантов не превышает определенного числа, характерного для заданной космической программы и выбираемого количества типов космических буксиров. В качестве численного примера проведен анализ параметров системы космических буксиров с химическими двигателями, предназначенной для доставки определенных грузов на геостационарную орбиту и для возвращения части груза на начальную орбиту.

✱

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ОДНОГО КЛАССА КОСМИЧЕСКИХ МАНЕВРОВ

Л. М. КАЛАШНИКОВ

В работе рассматриваются задачи космических маневров для произвольной угловой дальности. Анализ производится на основе методов аналитической механики, которые прилагаются к теории оптимального управления.

В настоящее время теория оптимального управления основывается на математических моделях, представленных в нормальной форме Коши. В работе предлагается иной подход, в котором построение математической модели (построение дифференциальных уравнений движения) и выбор оптимального управления являются следствием оптимизации одного и того же функционала.

На основании этого метода решались задачи космических маневров в центральном ньютоновском поле с идеально регулируемой тягой двигателя и в центральном однородном поле с нерегулируемой тягой. В последнем случае в классе кусочно-непрерывной тяги удалось получить синтез оптимального управления в виде простых аналитических выражений.

*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ К ЮПИТЕРУ И САТУРНУ

В. А. КОТИН, А. В. ЛЕЩЕНКО, О. В. ПАПКОВ

Исследуются основные проектно-баллистические характеристики межпланетных траекторий полета к Юпитеру и Сатурну в 1979—1992 гг. Рассматриваются прямые полеты к планетам (схема Земля — планета назначения), полеты с попутным облетом одной промежуточной планеты (схема Земля — промежуточная планета — планета назначения) и полеты с использованием пертурбационного эффекта Земли (схема Земля — планета назначения).

Использована кусочно-коническая аппроксимация межпланетных траекторий в рамках метода грависфер с учетом фаз движения планет, некомпланарности и эллиптичности их орбит. Изменение вектора скорости межпланетного аппарата при проведении активных маневров предполагалось мгновенным. В качестве критерия оптимальности траекторий принималась потребная для реализации перелета суммарная характеристическая скорость.

Показано, что пертурбационный маневр при попутном облете Марса или Земли позволяет снизить (в ряде случаев существенно) требуемую энергетику полетов к Юпитеру или Сатурну при приемлемом увеличении общего времени полета.

*

МНОГОШАГОВЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АППАРАТА С ДВИГАТЕЛЕМ МАЛОЙ ТЯГИ

В. В. САЛМИН, В. В. ВАСИЛЬЕВ, Ю. Н. ЛАЗАРЕВ

В работе предлагается многошаговый алгоритм адаптивного управления, основанный на предварительном выборе опорных режимов программного управления (блок расчета номинальной траектории), последовательном уточнении математической модели возмущений и вектора состояний аппарата (блок идентификации), прогнозирования движения до конца заданного интервала времени (блок прогноза) и расчете поправок к опорному закону управления, сводящих к нулю ожидаемый конечный промах (блок коррекции). Реализация такого алгоритма предполагает наличие быстродействующей ЦВМ в системе управления движением.

Приведены примеры расчетов, характеризующие работоспособность алгоритма в задачах коррекции эллиптических орбит и пространственных межорбитальных переходов. Основным возмущающим фактором при моделировании являлась сила сопротивления верхних слоев атмосферы планеты, для которой математическая модель плотности известна с большой степенью неопределенности. Моделирование показало высокую эффективность предложенных многошаговых адаптивных алгоритмов.

*

МЕТОД ИМПУЛЬСНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА НИЗКОЛЕТЯЩИХ ИСЗ

А. И. БЕЛЯКОВ, А. А. УСИКОВ

Излагается метод поддержания высоты полета низколетящих ИСЗ с помощью двигателей большой тяги, обеспечивающих двухимпульсный переход на номинальную орбиту после того, как ИСЗ вследствие торможения атмосферой достигает допустимой нижней границы высот. Зависимость между требуемым временем активного существования ИСЗ T и необходимым для его обеспе-

чения запасом топлива определяется по формуле

$$G_T/G_0 = \frac{T - \Delta T}{\Delta T_0} \left[\exp\left(\frac{\Delta V}{W_0}\right) - 1 \right].$$

Здесь G_0 — начальный вес ИСЗ; ΔV — значение характеристической скорости для перехода на номинальную орбиту; W_0 — скорость истечения; ΔT_0 — время существования ИСЗ в заданном диапазоне высот.

Требуемое количество коррекций n определяется по формуле

$$n = - \frac{W_0}{\Delta V} \ln\left(1 - \frac{G_T}{G_0}\right).$$

Таким образом, задача об определении количества топлива и количества двухимпульсных коррекций свелась к задаче расчета величины характеристической скорости, необходимой для возвращения на исходную орбиту, и времени существования ИСЗ в заданном диапазоне высот при исходном баллистическом коэффициенте.

*

ЗАДАЧА НЕПРЕРЫВНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВОГО СЛОЯ СФЕРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Б. П. БЫРКОВ, В. В. СИЛОВ

Рассматривается задача заполнения заданного шарового слоя сферическими поверхностями определенного радиуса, когда любая точка шарового слоя должна непрерывно находиться внутри по крайней мере одной сферы. Для вопросов, связанных с применением спутниковых систем, наибольший интерес представляет случай, когда центры шаров движутся по концентрическим окружностям вокруг общего центра, являющегося центром шарового слоя. В прямой постановке задача состоит в выборе такого начального расположения сфер, которое при заданном их радиусе обеспечивало бы решение задачи минимальным числом сфер, в обратной — при заданном числе сфер отыскивается такое их расположение и оптимальный радиус, которые обеспечивают непрерывное заполнение заданного шарового слоя. Решение сформулированных задач можно получить с использованием так называемой α -характеристики структур — основного показателя качества систем непрерывного обзора сферы. Оптимальное решение будет различным в зависимости от того, в какой из трех диапазонов попадает располагаемый радиус шара в прямой задаче и угловой радиус α рабочей зоны — в обратной. Границы этих диапазонов зависят от соотношения размеров шарового слоя и заполняющих сфер.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ С ИМПУЛЬСНОЙ И НЕПРЕРЫВНОЙ ТЯГОЙ

В. В. КИРИЛЕНКО, Г. П. ПРОХОРЕНКО

Обосновывается необходимость проведения сравнительных оценок энергозатрат для импульсного и непрерывного приложения постоянной малой тяги при орбитальном маневрировании космических аппаратов в окрестности планеты. Изложена аналитическая методика получения оценок величин энергозатрат в виде отношения характеристических скоростей при маневре с непрерывной и импульсной тягой.

Разработка методики проводилась для случая центрального поля силы тяжести без учета атмосферы планеты. Приведена формульная схема расчета баллистических параметров маневра в целях изменения отдельных элементов орбиты. Сравнительные оценки энергозатрат при пространственном маневрировании приведены в виде графических зависимостей.

*

ДВУХИМПУЛЬСНАЯ НЕАПСИДАЛЬНАЯ СХЕМА ВЫВЕДЕНИЯ ИСЗ НА СТАЦИОНАРНУЮ ОРБИТУ

А. Н. БЫКОВ, М. А. ДРУЧЕЖ, И. И. ЛЕБЕДЕВ

Рассматривается двухимпульсная неапсидальная схема выведения ИСЗ на любые требуемые подспутниковые долготы стационарной орбиты.

Показано, что при использовании такой схемы выведение ИСЗ на требуемые долготы обеспечивается как за счет выбора соответствующим образом радиуса апогея переходной орбиты, так и за счет обработки первого импульса скорости в точках опорной орбиты, в общем случае несовпадающими с ее узловыми точками. При этом время и потребные энергетические затраты на выведение ИСЗ зависят от требуемой подспутниковой долготы стационарной орбиты. Приведены графические зависимости для определения потребных энергетических затрат и времени выведения ИСЗ на требуемые долготы стационарной орбиты.

*

ОПТИМАЛЬНЫЕ ОРБИТЫ ОЖИДАНИЯ

Б. Л. ЖУРИН

Рассматриваются орбиты ожидания, обеспечивающие минимальное время перелета в заданную точку некоторой круговой орбиты при импульсных переходах.

Показано, что время перелета для компланарных круговых орбит зависит только от больших полуосей этих орбит. Время перелета уменьшается с понижением высоты нижней орбиты. Но каждому значению высоты нижней орбиты соответствует единственное значение высоты верхней орбиты, отвечающей минимальному времени перелета. С уменьшением высоты верхней орбиты это время быстро возрастает за счет необходимости ожидания благоприятного фазирования. С увеличением высоты верхней орбиты по сравнению с экстремальной продолжительность перелета медленно возрастает за счет времени полета между орбитами.

*

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ КОРРЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗНЫХ ИСЗ НА ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТАХ

А. И. БЕЛЯКОВ, В. Е. ВОЛКОВ, Е. Г. ПОРТНОВ

Рассматривается методика расчета исходных данных для проведения коррекций при построении системы связных ИСЗ на эллиптических орбитах.

Для построения системы определяется оптимальное положение ИСЗ на поверхности Земли $L_{\text{опт}}$ относительно долгот Гринвича, а также диапазон допустимого ее отклонения на восток $\Delta L_{\text{в}}$ и на запад $\Delta L_{\text{з}}$. Диапазон долгот, допустимых смещений трассы $\Delta L_{\text{в}} - \Delta L_{\text{з}}$ определяет время совместной радиовидимости двух соседних спутников Δt , определяющее в свою очередь допустимую величину расхождения или сближения этих спутников, при которой еще будет существовать непрерывная связь.

Учитывая, что долгота восходящего узла орбиты выведения $L_{\text{выв}}$ будет отличаться от $L_{\text{опт}}$, в период построения системы необходимо предусмотреть для каждого спутника смещение его трассы (с помощью коррекции или соответствующего выбора периода обращения) в направлении $L_{\text{опт}}$ с последующей стабилизацией периода обращения до величины $T_{\text{ст}}$. Под $T_{\text{ст}}$ понимается драконический период обращения $T_{\text{др}}$ с неизменным положением трассы полета на поверхности Земли.

В работе приводится методика расчета моментов проведения коррекций, количества коррекций, величин, на которые необходимо корректировать период обращения для различных $T_{др}$ (отличающихся от $T_{ст}$) при построении системы.

*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СОПРЯЖЕННОЙ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВСТРЕЧИ НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЕ

В. В. КУЗНЕЦОВ, А. М. НИКУЛИН

Рассматривается задача оптимального управления пространственным маневром встречи космического аппарата (КА) с маневрирующим КА (НКА), находящимся на эллиптической орбите. Управление положением центра масс КА осуществляется с помощью одного двигателя по полярной схеме. При энергетически оптимальных и оптимальных по быстрдействию одно- и двухимпульсных перелетах получены законы оптимальной ориентации и оптимального регулирования тяги двигателя, выражаемые через решения сопряженной системы. Сопряженная дифференциальная система 7-го порядка, составленная в соответствии с принципом максимума Понтрягина, является линейной и нестационарной. Переход от текущего времени (как независимой переменной) к истинной аномалии НКА (в качестве аргумента системы) позволяет получить для сопряженных переменных явные выражения через элементарные функции и, следовательно, аналитическое решение для оптимальной ориентации и оптимального регулирования тяги двигательной установки маневрирующего КА, что позволяет снизить затраты машинного времени на численное решение краевой задачи принципа максимума.

*

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ РАБОТЫ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

**Е. В. ХРУНОВ, Е. М. ДОБРЫНИН, В. Н. ЖОВИНСКИЙ,
И. М. КОЛОМЕНСКИЙ**

Для сравнения между собой функционально близких эргатических систем и для оценки деятельности человека-оператора летательного аппарата (ЛА) вводится критерий оценки работы в форме комплексного показателя качества. Критерий формируется из частных показателей качества, учитывающих параметры короткопериодического, длиннопериодического движения, расход рабочего тела, а также медико-биологические и технические параметры звена человек—машина, что определяет широкие возможности использования критерия для сравнения различных алгоритмов управления; сравнения отдельных узлов системы между собой; сравнения действий различных операторов в одной системе; выявления тенденции при тренировках операторов с точки зрения приобретения устойчивых навыков выполнения полетного задания. Форма представления критерия удобна для текущей обработки на том же аналого-цифровом вычислительном комплексе, на котором решается основная задача.

Рассматривается пример использования предложенной методики.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ДИРЕКТОРНОГО И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛА НА ПОЛУНАТУРНОМ МОДЕЛИРУЮЩЕМ СТЕНДЕ В СОСТАВЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

**Е. В. ХРУНОВ, А. В. ЛЮБИМОВ, Э. И. МИТРОШИН,
А. Б. КРЫМОВ, В. П. НАЙДЕНОВ, В. В. ГОРБАТЕНКО, В. Е. ВОВА**

Дается обоснование функциональной структуры пилотажно-исследовательского стенда для исследования системы аэрогазодинамического управления, позволяющего решать комплексные задачи автоматического, полуавтоматического и ручного

управления летательным аппаратом (ЛА) в реальном масштабе времени и располагаемом диапазоне высот и скоростей полета.

Приведены уравнения движения в системе управления ЛА на различных участках полета, даны рациональные пути распределения алгоритмов расчета динамики пространственного движения ЛА на аналого-цифровом вычислительном комплексе, включающем ЦВМ типа М-220.

✱

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОРОЖДАЮЩЕЙ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ДИСКРЕТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

А. М. ВОЛКОВ, А. Г. КАЛАЧЕВ

Приведены теоретические исследования влияния стохастического характера параметров модели и результаты по сравнению полученного закона распределения времени реакции оператора с экспериментальными данными. Наши исследования подтвердили справедливость математического описания дискретного типа деятельности человека-оператора, полученного на основе метода порождающей обобщенной модели.

✱

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА АСУ

Н. С. РОМАНОВ, А. С. ТЮХМЕНЕВ

При решении задачи построения моделей деятельности оператора АСУ экспериментальным исследованиям характеристик работы человека отводится значительная роль.

В работе рассматриваются методы и способы планирования эксперимента при построении математической модели человека-оператора и изучается влияние фактора усталости оператора на характеристики его работы.

✱

ОПИСАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА МЕТОДОМ ПОРОЖДАЮЩЕЙ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ

А. М. ВОЛКОВ

При проектировании и эксплуатации систем человек—машина возникает ряд специфических задач, решение которых требует использования модели человека-оператора. К таким задачам относятся: распределение функций между человеком и технической частью системы, оптимизация контура ручного управления, оценка качества работы оператора автоматизированных систем.

Рассматриваются методы математического описания работы оператора, основанные на принципах математического моделирования процессов. Приводится ряд важных результатов по математическому моделированию механических и биологических систем.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ

С. И. ЩЕТИЛОВ, К. Н. ЛАВРОВ

Излагаются вопросы, связанные с анализом проблемы точности радиоизмерений, проводимых с помощью радиоинтерферометрических систем различной геометрии. Анализируются основные источники систематических ошибок результатов измерений, получаемых с помощью длиннобазисных радиоинтерферометрических систем, а именно: влияние регулярной рефракции электромагнитных волн в атмосфере Земли; ошибки параллакса; погрешности радиоинтерферометрических систем, связанные с неточностью ориентации баз и неточностью измерения их длины.

Для интерферометра, состоящего из двух антенн, в приближении концентрически стратифицированной изотропной атмосферы получены формулы, позволяющие с высокой точностью определять рефракционные поправки к измеряемым величинам дальности до наблюдаемого объекта и к направляющему углу на объект. Найденные формулы позволяют проводить оценку поправок на параллакс для интерферометров двух различных типов. Величины поправок анализируются в зависимости от отношения величин расстояния до наблюдаемого объекта к длине базы интерферометра.

Полученные в работе результаты позволяют эффективно исключать систематическую составляющую ошибки при математической обработке результатов радиоинтерферометрических измерений.

АНАЛИЗ ДВУМЕРНЫХ АСТРОСЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

А. Д. МОДЯЕВ, В. М. АНДРИАНОВ

Рассматриваются методы анализа двумерных астроследящих систем с амплитудно-фазовой модуляцией сигнала в пространстве состояний с использованием комплексных координат. Для описания системы применяется векторно-матричный математический аппарат.

Для широкого класса систем, в состав которых входят оптический блок, осуществляющий модуляцию светового сигнала, одноканальный линейный усилительно-преобразовательный блок, демодулятор и исполнительный орган с асимметричными перекрестными связями, получены формулы для записи уравнений динамики системы в единой векторно-матричной форме в комплексных координатах. Приводятся аналитические выражения для вычисления передаточной функции замкнутой и разомкнутой систем, переходных процессов, динамической ошибки, годографа кривой D -разбиения по комплексному коэффициенту усиления. Полученные зависимости позволяют исследовать устойчивость, качество и точность двумерных астроследящих систем.

Результаты работы представлены в форме, удобной для применения машинных методов расчета, с использованием спектрального разложения комплексной матрицы системы. Приведен пример расчета астроследящей системы по изложенной методике.

*

К ВОПРОСУ НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОПТИЧЕСКИМ ВИЗИРОМ ПРИ РУЧНОМ НАВЕДЕНИИ

Н. Е. ШВАЧКА, Л. Л. КОСЯКОВ

Рассмотрены два способа ручного наведения с фиксацией положения линии визирования в течение процесса наблюдения и ручное наведение с отслеживанием объектов наблюдения.

Приводятся результаты по изменению допустимой тангенциальной скорости цели в зависимости от времени, необходимого для изучения объектов, при различных уровнях разрешения. Показано, что детальное наблюдение космических объектов с помощью оптического визира при ручном управлении может успешно проводиться на полете только при оптимальных скоростях, танген-

циальная составляющая которых не превышает величины 500--1000 м/с. В противном случае необходимо использовать автоматическую систему отслеживания космических объектов.

*

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИБЛИЖЕННО-ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ

Ю. Д. ШЕПТУН, Г. Н. РЕЗНИК

Решается задача синтеза приближенно-оптимальной по быстродействию системы управления нелинейным объектом. Предлагается способ построения замкнутой системы управления с переменной структурой, обеспечивающей приближенно-оптимальный разворот космического аппарата, движение которого описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка, и стабилизацию его после разворота с требуемой точностью по фазовым координатам. Способ предполагает использование программных функций для получения вида желаемой обратной связи в замкнутой системе управления.

*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРНО-МАТРИЧНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА К АНАЛИЗУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А. Д. МОДЯЕВ, А. Д. АВЕРИНА

Излагается подход к анализу нелинейных систем автоматического управления, основанный на представлении выхода системы в виде функционального ряда

$$X(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(t_1, \dots, t_n).$$

Для непрерывных систем, описываемых уравнениями состояния вида

$$\dot{X} = AX + B[X \times X] + Cu,$$

которыми, в частности, могут быть уравнения движения ЛА при учете перекрестных связей, метод позволяет получить аналитические выражения для каждой составляющей ряда в векторно-мат-

ричной форме. Представлены формулы для вычисления многомерных передаточных функций по матрицам уравнений состояния. Найдена дискретная форма описания исходной нелинейной системы

$$\begin{aligned} X_{1k+1} &= \Phi_1 X_k + F_1 U_k, \\ X_{2k+1} &= \Phi_2 [X_k \times X_k] + F_2 [U_k \times U_k], \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ X_{k+1} &= \sum_n X_{nk+1}. \end{aligned}$$

Получены соотношения, связывающие непрерывную и дискретную формы описания. Приведены выражения для матриц уравнений состояния нелинейных систем с обратными связями, полученные по уравнениям состояния разомкнутых систем.

Результаты работы позволяют оценивать качество нелинейных систем управления и могут быть использованы при построении моделей и оценке состояния нелинейных объектов управления.

✱

АЛГОРИТМ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СПУСКА КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АТМОСФЕРЕ

Ю. П. КУЛЯБИЧЕВ, Н. А. КРИЦЫНА

В работе предложен алгоритм синтеза номинальной программы управления спуском летательного аппарата баллистического типа по углу атаки. Для оптимизации необходимого объема теплозащиты программа управления должна обеспечивать минимальное время полета спускаемого аппарата в атмосфере при фиксированных условиях входа и заданной точке посадки. Это в свою очередь приводит к повышению точности попадания летательного аппарата в заданную область.

Поставленная задача решается на основе принципа максимума Понтрягина. При этом нелинейная двухточечная краевая задача с нефиксированным временем сводится к задаче со свободным правым концом и фиксированным временем.

✱

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПО СКОРОСТИ ПОЛЕТА СВЕРХЗВУКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА

А. И. НЕФЕЛОВ, А. А. КОЗЛОВ

В работе предлагается способ оценки устойчивости нестационарных уравнений движения к начальным возмущениям. Для этого вводится показатель чувствительности к начальным данным наблюдаемого выхода, который представляет нелинейную логарифмическую функцию на конечном интервале времени.

Показатель чувствительности к начальным данным служит количественной мерой для оценки различных структур системы автоматического управления воздушной скоростью полета и позволяет при проектировании системы автоматического управления оптимально (в смысле устойчивости) выбирать параметры системы.

*

УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ИНЕРЦИОННО-НЕСИММЕТРИЧНОГО АППАРАТА В КОСМОСЕ

А. Б. КРЫМОВ, А. С. ВАСЬКОВ

Рассматриваются различные схемы и законы управления инерционно-несимметричным космическим аппаратом, динамика которого описывается уравнениями Эйлера, с помощью двигателей, работающих в релейном режиме. Предлагается оптимальное по времени управление плоским разворотом указанного аппарата.

*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЭТАПЕ АТМОСФЕРНОГО СПУСКА

Г. Л. ВЫШКОВСКИЙ

Аэродинамические параметры космического аппарата на этапе спуска в атмосфере изменяются в широких пределах в зависимости от скорости и высоты полета. Для обеспечения высоких динамических показателей качества управления спуском необходимо оценивать текущие значения аэродинамических параметров для коррекции закона управления.

Проблема оценивания заключается в нахождении приближенного метода описания полученных экспериментальных зависимостей выходного сигнала аппарата. Полученное с помощью одного из методов аппроксимации аналитическое выражение выхода аппарата представляет собой приближенную запись решения дифференциального уравнения, описывающего поведение космического аппарата. Зная вид решения, можно оценить неизвестные параметры аппарата.

Применяемые в настоящее время методы оценки основаны на представлении выходного сигнала рядом, причем коэффициенты ряда отыскиваются одним из методов аппроксимации. Такое представление дает хорошую точность вначале и накапливает ошибку в конце. Применение сплайн-функций для приближенного описания решения имеет то преимущество, что с помощью сплайнов определяется глобальное решение, т. е. решение определяется на всем интервале измерений.

Приведены графики, сравнивающие разные методы, и даны ошибки разных методов. Отличительной особенностью аппроксимации сплайнами является использование итерационной процедуры, сокращающей объем аппаратуры.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Ю. Д. ШЕПТУН

Рассмотрены методы расчета колебательных систем, в которых позиционные воздействия на систему характеризуются переменными во времени коэффициентами.

Используя кусочно-экспоненциальную аппроксимацию коэффициентов позиционного воздействия, решается уравнение Бесселя, и на этой основе строятся фазовые траектории системы. Приводятся расчетные формулы, позволяющие осуществить анализ односторонних и двухсторонних колебаний в системе.

*

ДИАЛОГОВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В. Г. ПОТЕМКИН, С. П. ЗАБРОДИН

Режим диалога в процессе проектирования систем управления имеет значительные преимущества по сравнению с пакетным режимом. Он дает возможность вести проектирование в реальном времени, получать результаты расчетов на рабочем месте проектировщика, проводить непосредственное корректирование и изменение хода процесса проектирования, исходя из анализа полученных результатов.

Для реализации таких возможностей на базе вычислительных средств ЕС ЭВМ предложена диалоговая система программирования для одновременной работы коллектива проектировщиков. Решение задач анализа и расчета систем управления обеспечивается модулями пакета прикладных программ, которые реализованы на основе методов спектральной теории матриц и предназначены для линеаризации нелинейных уравнений, построения дискретных моделей систем с несколькими периодами квантования; анализа управляемости, наблюдаемости и устойчивости; анализа автоколебаний в нелинейных системах; расчета передаточных функций, частотных характеристик и корневых годографов.

Для работы пользователей с системой разработан специализированный язык диалога, в котором предусмотрены возможности ввода и вывода данных, обработки арифметических выражений, организации циклов и подпрограмм, вызова модулей пакета, редактирования, записи и считывания программ и данных пользователя. Такая организация процесса проектирования позволяет повысить качество и сократить время проектирования в 2—3 раза.

★

АЛГОРИТМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. Г. ПОТЕМКИН, М. В. СЕРГИЕВСКИЙ

Диалоговый пакет прикладных программ (ППП) является эффективным средством реализации системы автоматизированного проектирования систем управления космических летательных аппаратов. ППП состоит из тела пакета и организующей программы. Тело пакета включает набор проблемных программ, реализующих

матричные методы анализа систем управления и модель предметной области. Организующая программа состоит из планировщика и процессора пакета. Процессор пакета интерпретирует информацию, задаваемую на входном языке, а планировщик определяет последовательность используемых модулей и организует их взаимосвязь.

Планирование процесса решения задачи производится на основе информации, содержащейся в модели предметной области. В модели учитывается как информационная, так и логическая зависимость операторов. Это позволяет эффективно осуществлять автоматическое планирование процесса решения задач. Разработан алгоритм планирования процесса решения задач на моделях с условными отношениями, созданы алгоритмы синтеза программ, содержащих рекурсивные и циклические участки.

Предлагаемый метод позволяет освободить проектировщиков систем управления от составления вручную сложных алгоритмов проектирования.

*

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. И. КИСЕЛЕВ, С. А. ХАПУТОВА

Методы автоматизированного синтеза являются мощным средством расчета систем управления летательных аппаратов. Применение этих методов, в особенности при синтезе систем высокой размерности, позволяет значительно сократить объем расчетно-теоретических работ и вычислений, проводимых инженером в процессе проектирования системы.

В работе рассмотрены методы синтеза цифровых систем управления, основанные на математическом аппарате оптимизации динамических систем по квадратичному критерию качества, и приводятся алгоритмы расчета этих систем в режиме диалога проектировщика с ЭВМ.

*

АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

В. Г. ИВАНЕНКО, А. В. КУДИНОВ

Исследование динамических свойств систем управления летательными аппаратами различных типов требует их многократного моделирования на ЭВМ. Для моделирования каждой отдельной системы, а нередко и различных режимов одной и той же системы обычно приходится составлять и отлаживать отдельную программу. В целях существенного сокращения затрат времени и средств на создание и отладку программ моделирования в данной работе на основе методов пространства состояний предлагается универсальный алгоритм моделирования динамических систем сложной структуры. Алгоритм позволяет проводить основные виды структурных преобразований (последовательное и параллельное соединение, соединения в виде обратных связей) систем и моделирование как отдельных частей, так и всей системы в целом при различных типах задающих воздействий. Задание структуры и численных значений параметров системы, времени моделирования, шага выдачи результатов на печать, изменения структуры и отдельных параметров моделируемой системы и ряд других операций осуществляются пользователем программы в диалоговом режиме, что делает предложенный алгоритм весьма гибким и удобным для моделирования широкого класса систем управления летательными аппаратами.

*

УПРАВЛЕНИЕ СПУСКОМ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ОРБИТЫ ИСЗ

Ю. П. КУЛЯБИЧЕВ, А. А. ПЕРЕЖОГИН

В работе предлагается алгоритм управления спуском космического летательного аппарата (КЛА) в атмосфере Земли, обладающий свойствами инвариантности. Это позволяет избежать двух существенных недостатков: 1) значительных методических ошибок (характерных для алгоритмов, основанных на использовании параметров расчетной траектории); 2) жестких требований к БЦВМ (присущих алгоритмам, базирующимся на прогнозировании траектории).

В пространстве фазовых координат строится некоторое многообразие, обладающее тем свойством, что все траектории, лежащие в нем, проходят через заданную точку — точку приведения. Условие принадлежности траектории данному многообразию (условие слабой инвариантности) дает возможность получать в аналитической форме зависимость управления от фазовых координат и измеряемых компонент вектора перегрузки. При этом не возникает необходимости непосредственно измерять возмущение. Задача синтеза закона управления, удовлетворяющего условиям инвариантности, успешно решается, если полученные зависимости согласуются с ограничениями на управление.

Качество закона приведения оценивается следующими частными критериями: точностью приведения, величиной зоны маневра, размером области начальных условий и области компенсируемых возмущений (значения этих критериев целесообразно иметь максимальными), объемом памяти БЦВМ, быстродействием БЦВМ (значение последних критериев следует минимизировать).

Моделирование спуска аппарата в атмосфере в условиях, близких к реальным, показало, что закон приведения удовлетворяет перечисленным критериям в достаточной для практики степени.

*

НЕЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С. Н. ТРАПЕЗНИКОВ, Б. Ф. ШУМИЛОВ

В системах управления конечным состоянием цель управления заключается в достижении конечной определенной совокупности значений обобщенных координат систем $x_1(t_k)$, $x_2(t_k)$, ..., $x_n(t_k)$. Такие задачи появляются при стыковке космических аппаратов (КА), при мягкой посадке КА, при управлении самолетом или вертолетом при посадке и др. При управлении такого рода системами требуется предварительный просчет траектории движения летательного аппарата.

В работе показано, что происходящие в таких системах переходные процессы могут быть описаны с помощью степенных рядов. Над степенными рядами можно производить такие же математические операции, как в аппарате операционного исчисления. Подобный подход позволяет получить решение нелинейных нестационарных уравнений, описывающих нелинейную систему управления в определенном интервале времени. В результате в 10—20 раз сокращается время расчета траектории движения КЛА на бортовой ЦВМ.

*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

С. И. ЩЕТИЛОВ, О. М. ИСАЙКО

Главным требованием, предъявляемым к современным космическим комплексам, предназначенным для решения геометрических задач геодезии, является существенное повышение точности определения координат пункта наблюдения и сокращение времени получения результата. Так как связь между измеряемыми параметрами и вектором состояния системы носит сугубо нелинейный характер, то для решения поставленной задачи нужно разрабатывать такие алгоритмы обработки измерительной информации, которые учитывают наличие данной нелинейности.

Проведем сравнительный анализ характеристик линейного и нелинейного фильтров и изучено влияние шумов на точность получаемой оценки. При выводе уравнений нелинейной фильтрации предполагалось существование вторых частных производных функций измеряемых параметров от вектора состояния системы, которые и определяли корректирующие вектор и матрицу в соответствующих рекуррентных формулах для оценки вектора состояния и его ошибки. Показано, что применение данного фильтра приводит к значительному сокращению времени получения оценки вектора состояния системы, и даны рекомендации по его применению при обработке геодезической информации в конкретных случаях.

✱

ВЫБОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ НЕИСПРАВНОСТЯХ

В. П. КЛЮЕВ

Рассматривается задача синтеза системы управления, способной осуществлять качественную стабилизацию при наличии определенных неисправностей (например, исполнительных устройств).

Анализируется возможность построения инвариантной системы. Задача решается как в классе систем регулирования по отклонению, так и в классе комбинированных систем. Определены передаточные функции компенсационных звеньев, обеспечивающих инвариантность фазовых координат. Проанализирована физическая осуществимость компенсационных звеньев.

Получены законы оптимального управления при возникновении отдельных неисправностей.

НЕЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ БАРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА САМОЛЕТА

А. С. КОЧЕРГИН, М. М. ДИКАРЕВ

В работе рассматривается нелинейная система стабилизации барометрической высоты полета сверхзвукового транспортного самолета, в основу которой положен закон управления «с переменной зоной нечувствительности». Нелинейная система стабилизации позволяет отказаться от переключений в цепях управления во всей области полета, что обеспечивает необходимые показатели качества переходных процессов при типовых возмущениях и повышает надежность системы управления сверхзвукового транспортного самолета.

*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕТЕЙ СВЯЗИ ЧЕРЕЗ ИСЗ

В. А. КОЧЕГАРОВ, А. А. АБУМОВ

Изложена методика расчета сетей связи земных станций через искусственные спутники Земли, основанная на решении задач выбора распределения станций в полосе частот сети и числа их каналов связи при ограничениях, наложенных на полосу частот и потери по времени. Определение оптимального распределения станций с точки зрения критерия эффективности сети осуществляется путем сравнения случайным образом выбранных распределений. При этом цепь Маркова с непрерывным временем, описывающая функционирование сети, аппроксимируется диффузионным процессом, и потери вычисляются интегрированием методом статистических испытаний его плотности вероятности по областям, примыкающим к границам области определения процесса.

Методом диффузионной аппроксимации получены оценки распределений Эрланга и системы $GI/M/n$ с отказами. Показано, что соответствующие плотности вероятности являются плотностями семейства Пирсона типа Г. Приведен пример расчета полнодоступной сети связи, критерием эффективности которой является стоимость создания и функционирования сети в течение заданного времени.

*

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСЗ В АНАЛИЗЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Е. П. ДОМБКОВСКАЯ, И. А. АЛЕКСЕЕВА

Микроволновые поляризационные измерения с ИСЗ «Метеор» в диапазоне 0,8 см явились основой для получения детальной информации о таких важных погодообразующих параметрах атмосферы, как влажность воздуха, водность облаков и интенсивность осадков.

По данным синхронных наблюдений в ИК- и СВЧ-диапазонах над акваторией Мирового океана удалось определить фазовый состав облаков, установить зоны выпадения осадков и оценить их интенсивность. Детальный анализ микроволновых измерений над восточной частью Тихого океана дал возможность уточнить эволюцию структуры поля облачности внутритропической зоны конвергенции в пространстве и времени. Показана перспективность радиотепловых методов для получения качественно новой метеорологической информации в глобальном масштабе.

ПОИСКИ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПЕСЧАНЫХ ПУСТЫНЯХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ ФОТОСЪЕМОК

И. К. АБРОСИМОВ

Применение аэро- и космических фотоснимков для поисков подземных вод основано исключительно на использовании комплекса гидроиндикаторов, имеющих на снимках непосредственное изображение. К числу гидроиндикаторов могут быть отнесены как отдельные компоненты ландшафта, имеющие прямую или косвенную связь с подземными водами, так и ландшафт в целом. Такое использование гидроиндикаторов опирается на существующие взаимосвязи между физиономичными компонентами ландшафта и подземными водами. Наиболее четко такие связи про-

слеживаются в засушливых областях в первую очередь для подпесчаных линз пресных вод.

Областями питания подпесчаных линз являются участки песков, не закрепленных растительностью. Из областей питания грунтовые воды постушают к областям разгрузки, где засоляются или расходуются на испарение. В ландшафте области разгрузки могут быть выражены закрепленными песками, солончаками, озерами, расположенными на окраинах песчаных массивов, а также участками песков, занятых растениями-фреатофитами. Такие особенности образования подпесчаных линз пресных вод предопределяют возможность их обнаружения на материалах космических фотосъемок.

Работы по поискам пресных вод с помощью космических фотоснимков заключаются в обнаружении областей питания и разгрузки пресных подземных вод, ориентировочном подсчете их естественных ресурсов и выдаче рекомендаций по проведению проверочных буровых работ. Высокая обзорность космических фотоснимков и устойчивые признаки областей питания подземных вод позволяют провести работы по поискам пресных подземных вод на обширных территориях и в кратчайшие сроки.

✱

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМКИ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ СКАНИРУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ С БОРТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С. А. КАДНИЧАНСКИЙ

В работе приведены уравнения, описывающие связь координат соответствующих точек орбитальной панорамы и поверхности планеты, и рассмотрен способ уточнения параметров калибровки, элементов орбиты и коэффициентов полиномов, аппроксимирующих отклонение реальной ориентации от заданной. Для решения задачи используются координаты опорных точек, опознанных на телевизионном изображении. Приведены также результаты уточнения параметров для макетной панорамы, полученные по специальной программе, составленной на языке ФОРТРАН-IV ДЭС/ЕС в соответствии с предложенным алгоритмом.

✱

РАЙОНИРОВАНИЕ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ КАРТ ЛУНЫ

Л. А. ФОКИНА

В целях достоверного отображения лунной поверхности, передачи всех морфологических и других особенностей местности процессу создания общеселенографических карт должна предшествовать разработка схемы районирования Луны, которая позволит дифференцированно подойти к процессу картографической генерализации, процессу отбора и обобщения элементов содержания указанных карт.

Районирование лунной поверхности было проведено с использованием методов корреляционного анализа. Исследовались корреляционные зависимости между степенью эродированности и возрастными характеристиками отдельных участков лунной поверхности. По специально составленной для ЭВМ «Ряд-30» программе были вычислены коэффициенты корреляции между плотностью кратеров различных диаметров, яркостными характеристиками и химическим составом лунного реголита. Используя статистику кратеров, обнаруживших наиболее тесную связь с указанными признаками, были построены карты распределения этих кратеров по лунной поверхности, которые послужили основой для проведения районирования и создания классификации типов местности.

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Г. В. МАЛЫШЕВ

Особенностью современных летательных аппаратов является их принадлежность к «сложным (большим) системам», для которых характерна вероятностная природа ряда внешних воздействий, систем и рабочих процессов. В связи с этим проектирование следует строить на базе вероятностных и стохастических математических моделей.

В качестве критерия проектирования целесообразно использовать вероятность выполнения аппаратом его функций, которая непосредственно связана как с экономическими, так и с конструктивными параметрами.

Технико-экономический анализ на этапе разработки технического предложения решает задачу планирования затрат, обеспечивающих реализацию программы с вероятностью не ниже заданной, определяет уровень выполнения программы, соответствующий располагаемым средствам.

Конструкторская разработка включает анализ связей между параметрами траекторий, характеристиками агрегатов бортового комплекса. При разработке каждой системы определяется вероятность выполнения ее назначения как функции весового ограничения. Оптимальное объединение систем обеспечивает максимальную вероятность выполнения программы в целом.

Алгоритм проектирования связывает экономическую задачу с конструкторской разработкой, организует итерационные циклы последовательного уточнения решения.

*

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

В. И. БАЖЕНОВ, В. Г. БОЛНОЖИН, М. И. ОСИН

Задача синтеза оптимальной структуры формулируется как задача целочисленного нелинейного программирования. Целевая функция в задачах такого рода является дискретной, неупорядоченной и многоэкстремальной. Функциональные ограничения в виде сложных логических условий определяют область существования решения. Описаны принципы построения численных методов оптимизации, предназначенных для решения задач структурного синтеза.

Особенности типовой задачи структурного синтеза хорошо видны на примере комплектации состава технического объекта системами различного назначения. Каждая из таких систем может выполняться в нескольких вариантах, отличающихся принципами функционирования, составом, числом резервных элементов или уровнем унификации отдельных блоков, приборов или агрегатов. Целевой функцией, или критерием качества, могут быть масса объекта, стоимость разработки, вероятность безотказной работы или вероятность выполнения задачи. В работе приведено обоснование

вание сходимости предложенных методов поиска экстремума и описаны приемы статистической оценки уровня абсолютного экстремума.

✱

О РАЗРАБОТКЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ С ДИСКРЕТНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

В. И. ДАБИН, М. И. ОСИН, И. М. СИДОРОВ

Рассмотрены численные поисковые методы для решения задач комбинаторного характера, связанных с поиском оптимального сочетания стратегий по данному набору целей. Обобщены результаты разработки и сравнительного анализа численных методов дискретного программирования для задач автоматизированного синтеза структуры объектов, состоящих из систем различного целевого назначения.

Описываются свойства оптимизируемой модели, формулируется общая поисковая задача и излагаются принципы построения регулярных алгоритмов поиска, использующих сортировку по величине критерия и его приращениям, и алгоритма, основанного на случайной выборке.

✱

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ РАБОТ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ю. А. МАТВЕЕВ

За время эксплуатации системы летательных аппаратов (ЛА) происходит изменение условий ее функционирования, снижается эффективность использования техники, увеличиваются эксплуатационные затраты. Встает вопрос о проведении модернизации техники и ее замене. При этом возникает ряд проблем. Необходимо определить оптимальные сроки модернизации, характер проводимой модернизации, программу формирования модернизированной системы.

В данном случае рассматривается модель и алгоритм оптимизации программы работ при модернизации системы ЛА. Полагается, что характер и сроки модернизации известны. Задача оп-

тимизации работ формулируется следующим образом. Требуется определить момент начала работ, распределение средств, времени, числа испытаний по этапам модернизации ЛА с тем, чтобы к установленному сроку все работы были закончены, эффективность системы не снижалась ниже заданного уровня $W(t)$ и суммарные затраты были бы минимальными.

В работе рассматривается формализованная схема процесса, приводится модель и алгоритм, исследуется зависимость характеристик процесса $c(t)$, $P(t)$, $N(t)$ от значений внешних связей.

✱

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОКОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В. И. ЗЕРНОВ

Методология проектирования систем бортового комплекса летательного аппарата излагается на примере разработки разгонного блока с учетом того, что он является частью «большой системы». При этом критерий эффективности каждой системы является одним из параметров общей экономической эффективности аппарата. Алгоритм проектирования дает возможность расчленил систему на компоненты. Итерационные циклы последовательного уточнения позволяют корректировать промежуточные значения характеристик взаимодействующих элементов, обеспечить сходимость решений.

✱

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. Н. ГУЩИН

Разработана на основе директивных материалов методика оценки экономической эффективности внедрения систем автоматизированного проектирования (САПР) в конструкторские бюро. Даются научно обоснованные формулы расчета составляющих затрат. Показано, что внедрение САПР для типичного самолетостроительного КБ при автоматизации лишь 40% работ на этапе технических предложений дает экономию 97,3 тыс. руб. в год

по одному самолету. Предлагаемая методика может быть распространена на другие этапы создания самолета и другие летательные аппараты.

✱

ФУНКЦИИ РЕШАЮЩИХ СИСТЕМ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ю. И. ДРУШЛЯКОВ, С. Н. ПАДАЛКО

Одной из важных задач, встречающихся при проектировании летательных аппаратов (ЛА), рассматриваемом как синтез и анализ проектных решений, является формирование математической модели, позволяющей всесторонне оценить то или иное решение. Причем это формирование в значительной степени носит формализуемый, алгоритмизируемый характер, что используется для построения так называемых решающих систем.

Известные в настоящее время решающие системы имеют существенный недостаток, связанный с отсутствием возможности целенаправленно устранять часто имеющие место некорректности исходного задания на формирование модели. В предлагаемой работе, исходя из функциональных задач проектирования, определяется необходимость наличия таких возможностей у решающих систем в системах автоматизированного проектирования (САПР) ЛА.

Показано, что решающие системы, обладающие этими возможностями, могут выступить в роли систем управления принятием проектных решений в САПР, и определяются функции решающих систем, выступающих уже в этом качестве.

Предлагается подход к построению решающих систем как элемента САПР ЛА, их математическая модель и один алгоритм, реализующий работу такой системы.

✱

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ю. П. КОРНЕВ

В предлагаемой работе рассматриваются — метод и алгоритм определения оптимальных значений параметров корпуса летательного аппарата (ЛА) на ЭВМ.

Приводится постановка задачи в форме задачи математического программирования. Анализируются возможные пути ее

решения, показана нецелесообразность применения поисковых методов нелинейного программирования.

Предлагаются метод и алгоритм решения задачи, основанные на разбиении исходной задачи оптимизации на ряд частных задач меньшей размерности. Разбиение производится на основе представления корпуса ЛА в виде сложной многоуровневой технической системы и анализа ее структурных свойств. Алгоритм позволяет получить решение исходной задачи в результате объединения решений частных задач в рамках многоуровневого итерационного процесса.

Приводятся результаты разработки специального прикладного математического обеспечения, ориентированного на решение задач исследования конструкции корпуса ЛА на ЕС ЭВМ.

Предлагаемые алгоритмы и математическое обеспечение могут быть использованы при разработке пакета прикладных программ системы автоматизированного проектирования ЛА для стадии технического предложения.

*

К ВОПРОСУ ПЕРСПЕКТИВНОГО И ПРОГРАММНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

Ю. Е. ЛЕВИЦКИЙ, Н. Н. ПОПОВ, В. Д. ОНОПРИЕНКО

Планирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) — неотъемлемая часть общегосударственного планирования народного хозяйства страны, поэтому вопросы планирования науки и техники (НИР и ОКР) нельзя рассматривать автономно от перспективного планирования развития народного хозяйства в целом. Сегодня наука и техника ставят перед производством цели и диктуют тенденции развития. Комплексные процессы в системе «наука — техника — производство», как правило, не укладываются в пятилетние периоды и должны охватывать период 15—20 лет.

Программный подход как методический принцип планирования раскрывается в четырех основных понятиях: задача—цель—система мероприятий—целевое направление ресурсов. Специфика и преимущества его выражаются в том, что объект планирования — НИОКР — не отождествляется с какой-либо отдельной частной проблемой, а решается комплексно для данного вида техники. Это подход межотраслевой, вневедомственный, что позволяет при подготовке плановых решений учесть также важные взаимосвязи, которые при отраслевом подходе не учитываются или учитываются только частично.

*

К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

Г. Н. БЕЛОВА, В. Ф. ЗАЙЦЕВА, С. С. КОРУНОВ,
И. И. САМОЙЛОВА

В работе рассмотрен один из аспектов организации взаимодействия перспективных космических средств, а именно автоматических космических объектов и транспортно-космических аппаратов, предназначенных для обслуживания (доставка, снятие, ремонт и др.) этих космических объектов. Рассмотрен вопрос об оптимальном составе средств, т. е. определено количество транспортных средств, которое необходимо содержать на базовой орбите, чтобы своевременно обеспечивать ремонт и другое обслуживание космических объектов. В качестве критерия используется условие минимума суммарных потерь ресурсов в денежном выражении:

$$c(m, n, \lambda, \mu) \rightarrow \min_{m, n, \lambda, \mu} [c_{\text{пр}}N(m, n, \lambda, \mu) + c_{\text{ож}}M(m, n, \lambda, \mu)],$$

где m , n — соответственно количество космических объектов и транспортно-космических аппаратов; λ , μ — соответственно характеристики надежности космических объектов и продолжительность их ремонта; N — количество простаивающих транспортных средств; M — количество объектов, ожидающих ремонта.

Потери ресурсов возникают как при слишком большом количестве транспортных средств на орбите (простой — $c_{\text{пр}}$), так и при недостаточном количестве транспортно-космических средств (потеря информации — $c_{\text{ож}}$).

Для формирования величин N и M использован аппарат массового обслуживания. В работе также приводится методика получения прогнозных моделей затрат, на основании которых сформированы величины $c_{\text{ож}}$ и $c_{\text{пр}}$.

*

РАЗРАБОТКА ИДЕИ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО О МНОГОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Г. А. ПОЛТАВЕЦ

К. Э. Циолковский рассматривал ракеты и космические корабли как средства для решения транспортных задач при освоении ближнего и дальнего космоса. В этом плане он изучал летательные аппараты и системы, принадлежащие по существу к трем

иерархическим уровням: бортовые системы («взрывная труба», «камеры с жидким кислородом и углеводородом», «приспособления и органы управления» и т. п.), реактивные приборы («ракета», «космический корабль»), транспортные космические корабли — ТКК («ракетный поезд»).

В работе рассматривается модель многоуровневой транспортной космической системы, включающей, кроме указанных трех уровней-детализации, еще два: транспортно-космическую систему, в которую, кроме базового элемента ТКК, включаются наземные средства (стартово-посадочный комплекс, командно-измерительный и поисково-спасательный комплексы), и суперсистему, включающую систему обслуживаемых объектов (орбитальные космические станции, пилотируемые космические корабли, автоматические космические аппараты).

✱

К ВОПРОСУ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ БУДУЩЕГО

Г. А. ПОЛТАВЕЦ

Рассматривается эксплуатационная задача по оптимальному построению процесса применения транспортно-космических систем будущего. Имеются в виду значительные пассажирские и грузовые потоки на трассах Земля—орбита—Земля.

Основой оптимизации является принцип согласования срока службы базовых элементов транспортно-космических систем с временной наработкой и с ресурсом в циклах. Учитывается потребный штатный (при идеальной надежности) парк транспортных средств. Решается задача получения максимального экономического эффекта путем дополнительной загрузки транспортных средств вспомогательным полезным грузом.

✱

ОДИН МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е. И. КРИНЕЦКИЙ, Л. Н. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ

Контроль параметров, координат и характеристик сложных технических систем в процессе испытаний является неотъемлемой частью экспериментальной отработки этих систем. Обоснование требований к достоверности контроля следует проводить на основе системотехнического подхода так, чтобы весь процесс отработки в целом обладал оптимальными свойствами.

В качестве моделей динамики эффективности при проведении оптимизации могут быть использованы различные модели, например экспоненциальная и др. Метод иерархической оптимизации может быть успешно применен как для оптимального распределения средств между отдельными уровнями испытаний, так и для планирования частных видов испытаний в пределах каждого уровня.

Зависимость параметров моделей динамики эффективности от достоверности контроля получена путем моделирования оценок этих параметров при различной достоверности.

*

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ

Е. И. КРИНЕЦКИЙ, В. М. СИРИЦА, С. М. ФЕДОРЕНКО,
Н. Ф. БИРЮКОВА

Рассматриваются вопросы разработки методики контроля динамических систем в условиях активного и пассивного экспериментов. Приводится алгоритм идентификации контролируемых параметров по зашумленным измерениям, полученный на основе применения байесовского подхода, а также результаты исследований по планированию активного эксперимента, целью которого является повышение эффективности процесса контроля за счет формирования оптимального входного воздействия. Разработана методика контроля динамических систем в условиях пассивного эксперимента, когда входное воздействие не является постоянно возбуждающим для собственных колебаний объектов контроля; приводится правило построения рабочих моделей и метод изме-

рений выходных координат объекта контроля в соответствии с выбранной рабочей моделью, предложено правило ее выбора.

Разработанная методика контроля динамических систем позволяет определить техническое состояние изделий на различных этапах обработки и автоматизировать процесс их контроля.

✱

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА КРУПНОГАБАРИТНОЙ СИСТЕМЫ ОТДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В. И. БАЖЕНОВ, Ю. В. ЗАХАРОВ, М. И. ЛЕДНЕВ,
Г. А. САМКОВ

Весьма сложны испытания систем отделения крупногабаритных вертикально расположенных объектов в условиях имитации невесомости. При этом нижняя часть сборки устанавливается неподвижно на жестком основании, а верхняя, отделяемая часть обезвешивается с помощью резиновых амортизаторов. При испытаниях происходит отталкивание верхнего объекта от нижнего с некоторой относительной скоростью, а на обратном ходе во избежание повреждений отделяемых объектов — улавливание верхней, подвижной части сборки.

В результате рассмотрения трех схем испытаний выбрана и проанализирована наиболее эффективная схема, обеспечивающая высокую надежность срабатывания и сохранения объектов при минимальных технических средствах. Подробно изложена методика определения основных технических параметров систем обезвешивания и улавливания.

✱

ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗБРОС ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДНОГО ПАРАМЕТРА

В. Ф. НАГАВКИН

В работе рассматриваются планы испытаний образцов, проводимых в идентичных условиях, по определению изменчивости выходного параметра, характеризующего функциональные свойства объекта, в зависимости от колебаний значений конструктивных факторов внутри допуска на их воспроизведение. Основа

планирования — ортогональные комбинаторные планы и дисперсионный анализ результатов испытаний.

В качестве планов испытаний берутся специальные гиперквадраты, в которых число исследуемых факторов равно количеству их уровней. Применение таких планов продемонстрировано на исследовании транзисторного параметрического стабилизатора напряжения, состоящего из четырех элементов: транзистора, стабилитрона и двух резисторов. Проведенные испытания по планам ортогональных переборок позволили локализовать элемент объекта, допускаемые изменения характеристик которого наиболее значимо влияют на колебания выходного параметра.

✱

МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В КАМЕРЕ — ИМИТАТОРЕ КОСМОСА

О. Б. АНДРЕЙЧУК, В. И. МИНИН

Рассмотрен механизм передачи загрязнений между источником и поверхностью испытываемого объекта с участием поверхностей камеры. Предложена модель передачи загрязнений между поверхностями. Приведены математические выражения потока загрязняющих частиц и их концентрации на поверхностях. Показано влияние температуры поверхностей объекта и камеры на время получения равновесной концентрации загрязнений и, как следствие, на направление потоков загрязнений. Сделан вывод о преимущественной концентрации загрязнений на сорбирующей поверхности и о влиянии «промежуточных» поверхностей на кинетику переноса.

✱

О ВЫБОРЕ СТРУКТУРЫ КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ КАМЕРЫ — ИМИТАТОРА КОСМОСА

О. Б. АНДРЕЙЧУК

Рассмотрены структуры криогенной системы, рабочей частью которой являются криозэкраны и криопанели камеры — имитатора космического пространства, а также подсистемы криогенной системы. Проанализированы рабочие характеристики и предложены критерии выбора вариантов подсистем: обеспечения, подачи, утилизации — по минимальному общему расходу хладагента и по наименьшим затратам. Рассмотрены варианты структуры рабочей

части и предложен критерий ее выбора по наименьшей температуре, учитывающий влияние отношения поверхностей объекта и криоэкрана, а также температуры криоэкрана на точность имитации теплообмена объекта с космическим пространством. Указанный критерий является главным и определяет облик остальных подсистем.

✱

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКОЙ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д. М. АГРАНОВ, М. Д. ЧАМКИН

В работе изложены принципы воспроизведения на конструкции летательного аппарата (ЛА) в стендовых условиях управляемых усилий, соответствующих эксплуатационным нагрузкам. Изложены принципы построения быстродействующих многоканальных систем управления с автономными до ϵ каналами управления, что позволяет воспроизводить независимые программы по каждому из каналов управления.

Описанные системы относятся к классу систем с динамическими моделями и обладают свойством практической независимости настроек от параметров испытуемых конструкций.

Системы построены по блочному модульному конструктивному принципу, что позволяет реализовать систему с числом каналов от одного до сотен.

✱

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д. В. БАЖЕНОВ, Ю. Б. ИРЗ, В. В. ЧЕРНОВ

Обработка получаемых в процессе испытаний данных измерения является важнейшим звеном в цепи извлечения и представления информации. Процесс преобразования данных измерения по характеру и назначению отдельных процедур подразделяется на четко очерченные этапы первичной и вторичной обработки этих данных. Первоначально связующим звеном между названными этапами был оператор, на основе опыта и интуиции визуально оценивавший результаты измерений. По мере роста объемов информации, повышения требований к оперативности ее получения

в связи с необходимостью использования измерительной информации для управления ходом эксперимента и принятия решений потребовалась автоматизация и этих промежуточных операций. Однако математическая сторона описания процессов промежуточного этапа в настоящее время еще не получила должного развития. Трудности математической формализации и определенное отставание из-за этого автоматизации операций промежуточного этапа объясняют, почему принятие основных решений на этом этапе все еще зависит от способностей и субъективного подхода оператора.

✱

ТЕХНОЛОГИЯ В КОСМОСЕ

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

И. Т. БЕЛЯКОВ, Ю. Д. БОРИСОВ, М. Л. ГЕЛЬФАНД,
Н. М. ГОРБУНОВ, О. С. ЦЫГАНКОВ

В работе рассмотрен комплексный подход к проблеме обеспечения экипажей космических объектов специальными инструментами для выполнения ремонтных и сборочно-монтажных работ. Рассмотрены примеры компоновочных решений инструментов с учетом специфики условий их эксплуатации как внутри, так и вне космических объектов. Обоснована необходимость средств фиксации операторов при их технологической деятельности. Сформулированы принципы проектирования специальных инструментов с учетом технико-эргономических и эстетических требований.

✱

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

И. Т. БЕЛЯКОВ, Ю. Д. БОРИСОВ, М. Л. ГЕЛЬФАНД,
В. Г. БЕРЕГОВОЙ, Н. М. ГОРБУНОВ

Одним из перспективных видов разъемных соединений, предполагаемых к использованию в условиях космического пространства, является резьбовое соединение. Однако применение резьбового соединения в этих условиях сталкивается с рядом трудно-

стей, таких, как холодная сварка, наволакивание и т. д. Проблемам выбора материалов резьбовых пар, способных к многократной установке и разборке без изменения своих конструктивных параметров, разработке экспериментов, подтверждающих выбор материалов, и посвящена данная работа.

✱

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ УСТАНОВКА — ПЕРЕДАЮЩАЯ ЛИНИЯ — СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО — ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РУЧНОЙ ИНСТРУМЕНТ»

Ю. А. ПОПОВ, В. П. ГАЛКИН, Ю. В. ТАВРИН,
Е. П. ШАЛУНОВ, А. В. СЛЕСАРЕВ

В работе предлагается при проведении операций магнитно-импульсного деформирования в условиях космоса использовать энергетическую систему, в которой энергия от магнитно-импульсной установки до понижающего трансформатора передается по высоковольтному гибкому кабелю, а от трансформатора до ручного инструмента (индуктора) — по низковольтному кабелю.

Авторами проведен анализ электрических и механических нагрузок, действующих на кабельную линию в процессе работы системы, и сформулированы требования, предъявляемые к кабельной линии.

Конструктивно-технологические исследования и оценочные расчеты показали, что напряжение на индукторе целесообразно понижать до 250 В, а длину низковольтного гибкого кабеля следует выбирать в пределах 1—3 м.

В качестве понижающего трансформатора предлагается использовать разработанный и созданный авторами малогабаритный импульсный согласующий трансформатор с переменным коэффициентом трансформации. Суммарный коэффициент передачи энергии такого трансформатора составляет 0,7—0,8 при рабочей частоте разряда магнитно-импульсной установки более 3—5 кГц.

✱

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА С ЭФФЕКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Н. М. ГОРБУНОВ, В. Ю. ТАВРИН, Е. П. ШАЛУНОВ,
В. А. АБРАМУШКИН, А. В. СЛЕСАРЕВ

Работа с помощью переносного магнитно-импульсного инструмента представляет определенную опасность для оператора, так как связана с наличием высокого напряжения на инструменте (индукторе). Одним из возможных путей создания низковольтного инструмента является применение понижающего трансформатора. При этом увеличивается величина тока разряда в цепи после трансформатора, что приводит к увеличению потерь энергии в низковольтной цепи. Необходимость уменьшать индуктивность системы «индуктор—заготовка» значительно усложняет разработку низковольтного инструмента.

Расчеты показывают, что при индуктивности установки $L_y = 50 \cdot 10^{-9}$ Гн и коэффициенте передачи энергии трансформатора $k_{тр} = 0,8$ напряжение на инструменте может быть понижено до 50 В. С другой стороны, значительно возрастает вес 1 м низковольтного кабеля. В работе делается вывод о целесообразности снижения напряжения на инструменте до 250 В.

Кроме понижения напряжения на рабочем инструменте, разработанный авторами импульсный трансформатор с переменным коэффициентом трансформации повышает универсальность магнитно-импульсной установки и эффективность ее работы при переходе от одной технологической операции к другой.

*

МЕТОД ГИДРОНЕВЕСОМОСТИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОТРАБОТКИ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ

О. С. ЦЫГАНКОВ, В. С. УЛЬЯНОВ, А. А. РУДНЕВ,
В. К. ВОРОБЬЕВ

Эксплуатация долговременных орбитальных станций связана с неуклонно расширяющимся объемом работ по техническому обслуживанию и ремонту бортовых систем и аппаратуры как внутри, так и вне гермоотсеков. Основным технологическим содержанием этих работ является выполнение сборочно-монтажных операций силами экипажа. Для успешного решения технологических задач в полете необходима тщательная отработка методики

их выполнения на Земле, в том числе и в условиях моделированной невесомости. Метод гидроневесомости представляет для этих целей широкие возможности и перспективы.

В работе излагается физическая сущность моделирования невесомости в гидросреде. Анализируются гидростатические и гидродинамические факторы, влияющие на корректность моделирования: лобовое сопротивление, трение, подъемная сила, закручивающие моменты. Рассмотрены эффект присоединенной массы и его влияние на величину энерготрат оператора. Предложены структурная схема данного метода моделирования, способы определения общефизических, гидростатических и гидродинамических параметров системы «человек—скафандр».

Дана сравнительная характеристика методов моделирования невесомости в гидросреде и на самолете — летающей лаборатории. Рассмотрены медико-биологические, биомеханические, эргономические, конструктивно-технологические и методические аспекты упомянутых методов.

Подчеркиваются большие преимущества гидроневесомости как для решения актуальных (даже оперативных) задач, так и для перспективных разработок, а также для подготовки космонавтов.

Разработаны принципы создания макетов объектов и монтажно-сборочных единиц для работ в гидроневесомости, предложена апробированная методика отработки сборочно-монтажных и транспортировочных операций.

Работа иллюстрирована примерами, содержащими описание экспериментальных, испытательных и тренировочных работ, выполненных для действующих объектов.

*

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ФИКСАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

М. Л. ГЕЛЬФАНД, А. А. РУДНЕВ, Г. Л. ЛАСТОВСКИЙ,
Е. Г. ЛОХИН, В. Г. СОЛДАТКИН

В работе дано обоснование необходимости проведения ремонтно-монтажных работ в условиях невесомости, доказана обязательность фиксации оператора при проведении технологических работ. Даны определение и классификация фиксации оператора. Приведены и рассмотрены конструкции некоторых разработанных фиксирующих устройств.

Проведено исследование электроадгезионного сцепления токопроводящих элементов, даны рекомендации по выбору материалов для конструкций электроприлипающих устройств.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОСМОНАВТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЗАДАЧАМ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

О. С. ЦЫГАНКОВ

Своеобразие деятельности космонавта состоит в том, что система «человек — космическая техника» является более автономной, чем любая земная система. В силу высокой автономности космонавт должен выполнять самые различные функции. Специфика же операций технического обслуживания и ремонта в том, что перспективы его выполнения средствами автоматизации и механизации крайне ограничены. Эти операции включаются в функциональные обязанности экипажа. Для эффективного осуществления этих функций необходимо установление и максимальное использование возможностей экипажа. В работе анализируются задачи, содержание и особенности технологических операций обслуживания и ремонта. Как следует из анализа, наиболее распространенными являются работы по замене оборудования, т. е. сборочно-монтажные операции. Следовательно, поведенческие задачи исполнителя определяются при этом структурой и сущностью элементов сборочной операции, а ее схема может быть использована в качестве программы исследований.

Установление эргономических показателей исполнителя как в обычном костюме, так и в скафандре, определяющих его функциональные возможности, было произведено экспериментально на динамометрическом стенде в условиях моделированной невесомости на самолете — летающей лаборатории. Установлены пределы ротации и пронации — супинации кисти, оценены возможности схвата щепотью, кулачного, бокового, выполнения комбинированных функций. Определены развиваемые мышечные усилия разных характера и направлений. Оценена величина моторного поля и определена оптимальная рабочая зона. Выявлен эффект возможности занятия наклонной рабочей позы при условии жесткой фиксации ступней ног, присущий исключительно состоянию невесомости. Оценена тактильно-двигательная чувствительность и координация движений.

Полученные в данной работе характеристики не имеют аналогов в специальной литературе и могли бы лечь в основу нормативного материала, направленного на оптимизацию трудовой деятельности космонавта.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАВНОВЕСИЯ РАБОЧЕЙ ПОЗЫ ОПЕРАТОРА КАК ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСТА УПРАВЛЕНИЯ

В. Н. БОЛТЕНКОВ, Ю. В. СТЕПАНОВ, А. О. НИФОНТОВ

Рациональная рабочая поза оператора отвечает двум основным физиологическим условиям: 1) сохранение положения основных частей тела в пределах оптимальных (комфортных) суставных углов; 2) обеспечение оптимальной физической нагрузки на опорно-двигательный аппарат человека (ОДАЧ).

В настоящее время ученые стремятся добиться получения первого условия. Однако положение какого-либо органа управления, удовлетворяющего первому условию, в общем случае может не соответствовать второму условию.

В работе ставилась задача определить взаимосвязь между положением органа управления и характером нагруженности ОДАЧ. Для решения задачи исследовались условия равновесия оператора в рабочей позе «сидя» в момент включения рычага (при котором развивается максимальное усилие). В качестве показателя условия равновесия рабочей позы оператора (коэффициента стабилизации) принято отношение момента, потребного для включения рычага, к суммарному межзвенному стабилизирующему моменту.

Основные положения работы проверены экспериментально. Получена зависимость изменения значения коэффициента стабилизации от положения органа управления.

*

РЕМОНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

О. С. ЦЫГАНКОВ, П. А. ПОЗДНЯКОВ, А. Ф. ПОЛЕЩУК

Техническое обслуживание и ремонт непосредственно в полете являются одним из новых направлений повышения технико-экономической эффективности космических объектов. В свою очередь уровень эффективности обслуживания и ремонта зависит от таких факторов, как техническое обеспечение, качество бортовой ремонтно-технологической документации, специальная подготовка экипажа и ремонтная технологичность объекта. Последний фактор, как свойство конструкции, обдужается в данной работе.

Дается определение понятия ремонтной технологичности применительно к технологическим задачам и условиям космического полета, а также результаты структурного анализа свойств ремонт-

ной технологичности. Предложены количественные и качественные конструктивные критерии оценки этого свойства конструкции.

Непосредственно из опыта эксплуатации вытекает настоятельная необходимость уделять большое внимание ремонтной технологичности на самых ранних стадиях проектирования. В этой связи намечен и обоснован подход, заключающийся в разработке и реализации целевой программы обеспечения ремонтной технологичности на всех этапах создания объекта. Дан образец типовой программы. Высказаны соображения об организации службы ремонтной технологичности. В работе содержатся конкретные рекомендации по формированию свойств ремонтной технологичности, основанные на практическом опыте эксплуатации. Раскрыт тезис, согласно которому ремонтная технологичность как свойство конструкции имеет не только техническое, но и моральное значение, вселяя в экипаж дополнительную уверенность в свои силы и в успешное завершение программы полета.

В связи с организацией регулярных транспортных операций рассмотрен актуальный вопрос об эксплуатационной технологичности конструкции грузовых кораблей и о технологии обработки доставленных грузов.

★

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЯЖКИ СОТОВЫХ БЛОКОВ

М. И. ЗАК

Для получения сотовых блоков с заданными параметрами методом растяжки при наличии разброса размеров сторон ячеек, толщины и механических свойств фольги необходимо в ходе процесса растяжки определить средний размер b сторон ячеек и в соответствии с этим размером переместить рабочий орган автоматизированного оборудования с учетом последующего пружинения сотового блока. Рабочей информацией для определения размера b служат усилие растяжки и пружинение сотового блока, поддающиеся непосредственному измерению в ходе процесса. Проведенные исследования показали, что процесс растяжки сотовых блоков на автоматизированном оборудовании должен включать следующие переходы.

1. Предварительное перемещение рабочего органа на величину H_0 , пропорциональную минимальному размеру сторон ячеек. Измерение и запоминание усилий растяжки p .

2. Изменение направления движения (реверс) рабочего органа и перемещение его до полной разгрузки сотового блока, в ходе которой измеряется пружинение сотового блока Δu_1 . Определение размера b в зависимости от величин p и Δu_1 . Определение ве-

личины повторного перемещения рабочего органа ΔH_1 в зависимости от значения b и принятого критерия качества сотового блока (заданное или минимальное значение объемного веса, заданные значения габаритных размеров и др.).

3. Реверс рабочего органа и перемещение его на величину ΔH_1 .

4. Реверс рабочего органа и перемещение его до полной разгрузки сотового блока, в ходе которой измеряется и запоминается его пружинение Δy_2 . Определение величины дополнительного перемещения рабочего органа $\Delta H_2 = k_d \Delta y_2$, где k_d — коэффициент деформации, зависящий от параметров ячеек сотового блока.

5. Реверс рабочего органа и перемещение его на величину ΔH_2 .

6. Реверс рабочего органа и перемещение его до полной разгрузки сотового блока.

*

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТАЛЬНОГО СОЛНЕЧНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ

В. В. КАНТОР, С. И. РЫБНИКОВ

В высокоширотных районах, где наблюдается недостаток в дневной освещенности, может быть использован крупногабаритный солнечный отражатель, смонтированный на околоземной орбите.

Выбранная многозвенная структура отражателя обладает следующими преимуществами по сравнению с моноотражателем: вес единицы поверхности уменьшается в несколько раз; повышается точность поверхности за счет введения управления ее формой; облегчается переход к негеосинхронным орбитам, что позволяет уменьшить общую площадь отражателя при неизменном уровне освещенности в границах освещенного района; данная структура в зависимости от переменных метеоусловий позволяет концентрировать или рассеивать отраженный световой поток.

Полученные аналитические зависимости связывают параметры орбиты, площадь отражателя, оптические свойства атмосферы, требуемую освещенность и размеры освещаемого района.

Основные габаритные и массовые параметры отражателя вычисляются, исходя из предположения, что общая масса комплекса отражателей должна быть минимальной.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕГО СЛОЯ НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАДАЮЩЕГО ПОТОКА В РАДИАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

И. А. ЗЕРНОВ, Б. В. ОБНОСОВ

В работе приводится исследование равномерности падающего потока в радиационных установках, предназначенных для нагружения конструкций при испытаниях тепловыми потоками.

Авторами экспериментально установлено, что если разместить между панелью радиационной установки и нагреваемым объектом кварцевое стекло, то равномерность распределения потока по нагреваемой поверхности существенно повышается. В работе излагается теоретический анализ этого явления.

Проведенные исследования показали, что в ряде случаев неравномерность падающего потока в установках со стеклом может быть снижена в 5 раз по сравнению с аналогичными установками без стекла.

✱

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

В. Ф. МАРТЮШОВ

При создании в космосе энергетических станций серьезной задачей является выбор материала для конструкции станции. Уже на этапе эскизного проектирования выбранный материал определит многие характеристики станций, существенно повлияет на систему доставки агрегатов на орбиту, на ресурс, надежность и стоимость конструкции, предназначенной работать более 30 лет в космосе.

В работе не рассматривается влияние ползучести, релаксации напряжений и других факторов, которые при длительной эксплуатации станции в невесомости будут незначительными. В космосе наиболее существенно влияют на свойства материалов такие факторы, как температурный режим, сублимация, электромагнитная радиация, электронное облучение, воздействие метеоритных потоков. Показано, что перечисленные факторы на титановые сплавы оказывают меньшее воздействие, чем на стали, сплавы из алюминия, магния. Конечная оценка выбранного материала производится по стоимости изготовленной из него конструкции и доставке ее на орбиту.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ И СКОРОСТИ РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ВАКУУМЕ

В. И. КУРЕНКОВ, Ю. Л. ТАРАСОВ

В лабораторных исследованиях влияние среды эксплуатации на рост усталостных трещин изучается в моделируемых условиях этой среды, что усложняет контроль. Требуется сложное оборудование, точная юстировка, а метод визуального контроля вносит большую долю субъективизма.

В работе используется метод, основанный на изменении податливости системы с ростом трещины. На основе этого метода разработана упрощенная методика определения коэффициента интенсивности напряжений и скорости роста усталостных трещин, в которой длина трещины учитывается в неявном виде. Экспериментальная проверка показала возможность применения предложенной методики. Методика может быть применена там, где имеются трудности с измерением длины усталостных трещин, например в вакуумных камерах.

*

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМА НА УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВМД 5

Ф. М. ЕЛКИН, Н. И. ГАДАЛИН, В. Т. ТИМШИН

Цель работы — исследование влияния вакуума, как одного из эксплуатационных факторов, на усталостные характеристики магниево-литиевого сплава ВМД5.

Получены кривые усталости по разрушению при испытаниях образцов на воздухе и в вакууме ($5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.). Сопоставление диаграмм усталости показывает, что в вакууме наблюдается повышение усталостной прочности и долговечности образцов. Долговечность примерно в 2 раза выше, чем на воздухе.

Испытания по исследованию влияния выдержки (12 сут) образцов в вакууме ($1 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.) на усталостные свойства показали, что выдержка в вакууме с последующим испытанием на воздухе влияет на момент появления видимой трещины. Трещина в экспонированных образцах появляется раньше, чем в контрольных, тогда как разрушение наступает практически одновременно, что свидетельствует о меньшей скорости роста трещин в экспонированных образцах.

*

ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВАКУУМЕ

Б. А. ЛАВРОВ, А. И. ПАНЧЕНКО, Ю. Л. ТАРАСОВ, В. К. ШАДРИН

В работе исследовались характеристики вязкости разрушения листового материала АМг 6БМ в зависимости от длины трещины, среды испытания (воздух и вакуум $5 \cdot 10^{-6}$ тор), предварительной выдержки образцов в глубоком вакууме ($1 \cdot 10^{-8}$ тор).

Для испытаний были взяты плоские образцы толщиной 3 мм. На одной из боковых поверхностей образца делался надрез, из вершины которого выращивалась усталостная трещина.

Из анализа экспериментальных данных сделаны следующие выводы.

1. В образцах данного типа и данного материала хрупкого разрушения не наблюдалось.

2. С увеличением длины надреза коэффициент интенсивности напряжений и величина критического раскрытия вершины трещины уменьшаются.

3. Вакуум в пределах $760-5 \cdot 10^{-6}$ тор и предварительная выдержка в нем (10^{-8} тор) оказывают во много раз меньшее влияние на характеристики вязкости разрушения, чем размеры трещины.

4. Для уточнения влияния вакуума необходим больший интервал его варьирования.

*

РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ ОТСЕКОВ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. Т. БЕЛЯКОВ, Ю. Д. БОРИСОВ, В. Е. ИСАЧЕНКОВ

Перспективным направлением в создании крупногабаритных объектов в космосе является выведение на орбиту специально подготовленных и компактно сложенных на Земле металлических конструкций из листа, которые затем под действием упругих механических сил либо внутреннего давления подаваемого газа трансформируются в корпуса-оболочки с большими внутренними объемами.

Рассмотрены различные конструктивные решения трансформирующихся отсеков, приведена их классификация.

Проведенный анализ возможных технологических процессов формообразования крупногабаритных гофрированных элементов и оболочек из листа показал, что имеются все необходимые предпосылки для разработки эффективной технологии их получения.

✱

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ДИФФУЗИИ НА СТАНЦИИ «САЛЮТ-5»

В. С. АВДУЕВСКИЙ, С. Д. ГРИШИН, Е. А. КРИВАНДИНА,
Л. В. ЛЕСКОВ, В. И. ПОЛЕЖАЕВ, В. В. САВИЧЕВ,
В. Я. ХАИМОВ-МАЛЬКОВ

В работе излагаются результаты технологического эксперимента по взаимной диффузии двух органических веществ (дигеазила и толана), выполненного летчиками-космонавтами СССР Ю. Н. Глазковым и В. В. Горбатко в феврале 1977 г. на станции «Салют-5».

Взаимная диффузия протекала в течение 72 ч в расплаве при температуре, превышающей температуру плавления каждого из веществ, после чего произошла объемная кристаллизация смеси. Разработана математическая модель для анализа влияния конвективных процессов на перенос массы в расплаве. Выполненные расчеты показывают слабое влияние концентрационной конвекции на продольное распределение концентрации. Обработка результатов измерений дает значение коэффициента диффузии $D_{12} = (9,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}^2$, что в пределах разброса данных по определению D_{12} различными методами в земных условиях соответствует переносу массы путем молекулярной диффузии. Дано сопоставление с результатами аналогичных технологических экспериментов, выполненных на станции «Скайлэб» и по программе «Союз—Аполлон».

✱

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ МАКРОЛИКВАЦИИ ПРИМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МА-150 ПО ПРОГРАММЕ «СОЮЗ-АПОЛЛОН»

В. И. ПОЛЕЖАЕВ, А. И. ФЕДЮШКИН

В технологическом эксперименте МА-150, выполненном по программе «Союз—Аполлон», по получению в универсальной печи в условиях орбитального полета монокристаллов твердых растворов германий — кремний — сурьма обнаружено увеличение не-

равномерности распределения примесей по сравнению с аналогичными экспериментами в земных условиях (см.: «Физика и химия обработки материалов», 1977, № 5). В работе предложена математическая модель и выполнено численное исследование процессов тепло- и массообмена в модели технологической ампулы, из которых следует, что одной из возможных причин макроликвации является влияние тепловой конвекции в условиях ослабленного силового поля. Приводятся для сравнения результаты расчета полей температур и концентрации в трех характерных режимах — «теоретической невесомости», земных условиях и условиях орбитального полета, из которых следует, что в конкретных условиях эксперимента МА-150 воздействие тепловой конвекции могло приводить к большей неравномерности распределения примесей, чем в земных условиях. Дается оценка уровня массовых сил, при котором влияние тепловой конвекции будет несущественно.

✱

ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ДИСПЛЕЯ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПЕРЕГРУЗКИ

А. Г. ДАЙКОВСКИЙ, В. И. ПОЛЕЖАЕВ, А. И. ФЕДОСЕЕВ

Приводятся результаты численного эксперимента, иллюстрирующего развитие тепловой конвекции в подогреваемом сбоку вертикальном слое и воздействие конвекции на поле температур в жидкости при внезапном переходе из условий теоретической невесомости ($R_a = 0$) к земным условиям, соответствующим значению числа Релея, при котором течение имеет турбулентный характер. Процесс развития конвекции иллюстрируется в кинофильме, снятом с экрана дисплея. В первые моменты после приложения перегрузки образуется ламинарное подъемно-опускное течение, которое в зависимости от времени дробится на ряд регулярных ячеек. При дальнейшем развитии процесса происходит дробление регулярных ячеек с образованием мелкомасштабной нерегулярной структуры, что приводит к пульсации поля течения и температур. Наибольшая неравномерность в распределении поля температур в направлении действия массовой силы (температурное расслоение) наблюдается в ламинарном режиме (развитое подъемно-опускное движение и регулярная ячейковая структура).

✱

МЕТОДИКА И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

В. Л. ГРЯЗНОВ, К. Т. ДУБОВИК, В. И. ПОЛЕЖАЕВ

Изложен подход к численному моделированию технологических процессов получения веществ и материалов в условиях невесомости, разработанный в ИПМ АН СССР. В основе метода численного моделирования лежат двумерные уравнения гидродинамики, переноса тепла и массы, записанные в декартовой или цилиндрической системах координат. Учитываются механизмы конвекции гравитационного (тепловая, концентрационная) и негравитационного (термокапиллярная, капиллярно-концентрационная) типов и их взаимодействие.

Комплекс программ содержит программы для решения методом сеток исходных систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных (уравнения Навье—Стокса), программ обработки данных и программ визуализации полей течения, температуры и распределения примеси. В комплексе программ впервые предусмотрена возможность расчета и статистической обработки турбулентных режимов конвекции. Приводятся критериальные соотношения, дается описание состава исходных данных, необходимых для выполнения численного моделирования технологических экспериментов.

*

ПРОБЛЕМЫ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТОЛИТОВОЙ ФУНКЦИИ У ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ «СОЮЗ-21» И «СОЮЗ-22»

И. Я. ЯКОВЛЕВА, Л. Н. КОРНИЛОВА, Г. Д. СЫРЫХ,
И. К. ТАРАСОВ

Изучалось влияние условий космического полета (кратковременного — 7 сут и длительного — 30 сут) на отолитовую функцию космонавтов.

Отолитовый рефлекс определялся по величине угла противопоставления глазного яблока с помощью зрительного последовательного образа при отклонении тела во фронтальной плоскости из вертикального положения в горизонтальное.

Сконструированный нами прибор состоял из двух частей: камеры с вертикальной прорезью, фотовспышки, вмонтированной внутри камеры, и диска, проградуированного на 360 с делением в единицу. На диске крепилась подвижная стрелка с рукояткой.

Исследования отолитовой функции до и после космического полета выявили: индивидуальный характер динамики отолитовой реакции у членов экипажей под воздействием факторов полета; большие по выраженности и длительности изменения в показателях отолитовой функции после длительного полета по сравнению с кратковременным; повышение интенсивности отолитового рефлекса и наличие отолитовой асимметрии; возможную обусловленность связи статокинетических расстройств после полета с асимметрией отолитовой функции (исчезновение асимметрии сопровождалось нормализацией статокинетики).

Наблюдаемое после длительного полета появление асимметрии отолитовой функции, повышение отолитового рефлекса с одновременным нарушением статокинетики указывают на возможную их взаимосвязь и необходимость дальнейших исследований.

*

ОСОБЕННОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗОВ КУЛЬТУРОЙ *HYDROGENOMONAS EUTROPHA* Z-1 В УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА УСТАНОВКЕ УКМ-1

А. И. УШАНОВ, В. Н. СОКОЛОВ, В. А. КУРОЧКИН

Эффективный хемосинтез *Hydrogenomonas eutropha* Z-1 достигается во взрывоопасной среде, поэтому естественно стремление уменьшить объем газовой фазы в аппарате культивирования. Вместе с тем уменьшение объема газовой фазы существенно усложняет задачу регулирования и стабилизации газового состава, и тем в большей степени, чем выше плотность культивируемой суспензии, которая определяет потребление газов. В связи с этим представляло интерес найти количественные оценки потребления газов культурой водородных бактерий.

Исследования проводились на установке УКМ-1, имеющей рабочий объем культивируемой суспензии 17 л и полный объем газовой фазы 23 л. В установке используется позиционный принцип регулирования газового состава. В установившемся режиме колебания объемного содержания газов зависят от плотности культивируемой суспензии. Для диапазона плотностей 3—6 г/л амплитуды колебаний составляли: для водорода 3—10%, для кислорода 2—6%, для углекислого газа 1—4%; периоды колебаний изменялись от 2 до 5 мин. Общее давление менялось на 0,01 атм с периодом 1—3 мин.

Анализ данных по потреблению газов показал, что относительные изменения потреблений (в процентах от среднего) составляют: для водорода 35%, для углекислого газа 26%, для кислорода 19%.

Расчет нормированных автокорреляционных функций для отклонений величин потребления газов от усредненных значений показал, что колебания этих отклонений представляют собой случайный процесс типа «белый шум», среднеквадратическое отклонение которого составляет (в л/ч·г) для водорода 0,29, для кислорода 0,11 и для углекислого газа 0,053.

*

САНИТАРНО-БЫТОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

С. Н. ЗАЛОГУЕВ, В. В. БОРЩЕНКО, Г. А. ШУМИЛИНА,
А. Г. ПРИЩЕП, Л. С. БЕЛИКОВА, А. П. РОГАТОВСКАЯ,
В. М. КНЯЗЕВ

Увеличение длительности космических полетов требует пересмотра существующих подходов при обосновании некоторых факторов среды обитания человека. В связи с этим разработан рациональный режим использования комплекса средств санитарно-бытового обеспечения и апробирован в гермокамерных экспериментах продолжительностью до 120 сут. с участием испытателей.

В экспериментах получил положительную медицинскую оценку комплекс санитарно-бытового оборудования, который можно рассматривать как прототип варианта, предназначенного для обеспечения длительно действующих автономных объектов. При осуществлении процедур личной гигиены применялась вода, повторно регенерированная сорбционно-фильтрационным способом. Расход воды составлял 1,5—2 л/чел/сут на мытье лица и рук и 10 л на одну процедуру общего душа, проводимую с интервалом 7—10 сут.

В качестве моюще-дезинфицирующего средства использовалась композиция КАБОУАГ (катамин АБ, окись алкилдиметиламина и гексахлорофен) в 0,3%-ной концентрации. Специальное устройство для подачи раствора препарата исключало возможность превышения установленной концентрации при контакте с поверхностью тела человека во время водных процедур.

Исследованные клинико-физиологические показатели функционального состояния кожи, органов полости рта и некоторых общих защитных реакций организма человека в экспериментах с использованием предложенного режима применения комплекса средств санитарно-бытового обеспечения сохранились на уровне фоновых величин. Учитывая специфические особенности длительных космических полетов, целесообразно продолжить исследования по обработке указанных режимов.

*

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ УСТРАНЕНИЯ ОТКАЗОВ В СИСТЕМЕ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Г. Г. ТЕР-МИНАСЬЯН, Г. С. РАТНЕР, А. И. ГУСЬКОВ

К процессам устранения отказов системы жизнеобеспечения (СЖО) силами экипажа пилотируемого космического корабля предъявляется ряд специфических требований, обусловленных важностью функций, выполняемых системой, и ограниченностью времени на устранение отказа в связи с ухудшением условий обитания при отказах.

Под эффективностью процессов устранения отказов СЖО понимается степень соответствия показателей, характеризующих эти процессы, требованиям, которые к ним предъявляются. Количественно же эффективность процесса устранения отказов может быть выражена следующими безразмерными величинами: продолжительностью устранения отказов в сравнении с резервным временем; вероятностью совершения оператором ошибки в процессе устранения отказа.

Эти показатели зависят от множества факторов, которые не только взаимодействуют друг с другом, создавая ужесточенный режим работы технических звеньев СЖО, но и определенным образом отражаются на работе оператора. Наличие этих факторов, особенно характерных для длительно функционирующих космических аппаратов, создает весьма широкий круг проблем, которые должны быть решены для достижения высокой эффективности процессов устранения отказов. К числу этих проблем относятся оценка значимости каждого из них и учет их комплексного влияния на эффективность деятельности оператора по устранению отказов.

Совокупность проблем обеспечения эффективности устранения отказов условно подразделяется авторами на проблемы, касающиеся собственно технических звеньев СЖО, проблемы, касающиеся исследования и обеспечения операторской деятельности, и проблемы хранения в малом объеме и представления оператором большого количества информации, содержащейся в технической документации, которая необходима для устранения отказов СЖО.

*

О БИОМЕХАНИЗМАХ ЛОКОМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА НА «БЕГУЩЕЙ ДОРОЖКЕ» В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

А. В. ЕРЕМИН, В. И. СТЕПАНЦОВ, И. Ф. ЧЕКИРДА

Для определения возможности выполнения локомоций на «бегущей дорожке» космонавтами в условиях невесомости, а также для исследования биомеханики локомоций в целях обоснованного составления программ и методики физических упражнений методами фото- и киноциклографии в двух проекциях проанализирована структура ходьбы и бега у 38 человек в условиях кратковременной невесомости в самолете-лаборатории.

Проведен анализ движений человека в вертикальной позе и прыжках на месте в указанных выше условиях. Отмечены и проанализированы биомеханические особенности: кинематика, динамика и координационная структура локомоций, а также показатели механической работы.

Сделан вывод, что человек способен достаточно координированно выполнять ходьбу, бег и другие упражнения на «бегущей дорожке» в невесомости. Полученные материалы позволяют наметить дальнейшие направления работ по совершенствованию методик тренировки космонавтов как для профилактики гиподинамического эффекта невесомости, так и для поддержания выполнения локомоций после возвращения на Землю.

*

К ВОПРОСУ О ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ

Р. Б. БОГДАШЕВСКИЙ, В. П. СТУПНИЦКИЙ,
И. С. ЗАМАЛЕТДИНОВ, О. И. ЖДАНОВ

Особенности профессиональной деятельности предъявляют к космонавту значительные требования. Удовлетворение широкого диапазона требований осуществляется путем проведения профессионального клинико-психологического отбора, общей и специальной психологической подготовки к выполнению космических полетов.

Психофизиологическая подготовка должна рационально и максимально полно учитывать индивидуально-психологические личностные особенности космонавта, а также закономерности возникновения и течения психических процессов, участвующих в его профессиональной подготовке и деятельности. Фундаментом пси-

хологической подготовки советского космонавта является коммунистическая идейность, тесное единство идейно-политического, профессионального и нравственного потенциала личности.

Главное содержание психологической подготовки — мобилизовать необходимые психические функции космонавта, помочь ему в активном формировании концептуальной модели предстоящего полета, научить с наибольшей эффективностью реализовать свои психофизиологические резервы.

Методы и средства, используемые в процессе психологической подготовки космонавта, должны учитывать этапы его общей подготовки и профессионального становления. Исходя из указанных выше общих положений, рассматриваются различные этапы психологической подготовки применительно к различным этапам профессионального становления космонавтов, а также в процессе осуществления космического полета.

✱

СИНДРОМ СЕНСОРНОЙ ДЕПРИВАЦИИ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ И МЕРЫ ПРОФИЛАКТИКИ

Р. Б. БОГДАШЕВСКИЙ, О. И. ЖДАНОВ

Практика космических полетов показала, что весьма существенным фактором, воздействующим на состояние космонавтов в этих условиях, является сенсорная депривация.

Структура синдрома складывается из двух основных компонентов: собственного состояния и стихийно формирующейся системы поведенческих реакций, направленных на компенсацию имеющегося сенсорного дефицита. Основной особенностью состояния является снижение порогов восприятия экстеро-, интеро- и проприорецепторов, что феноменологически обычно проявляется в повышенной ранимости, эмоциональной лабильности, ипохондрических наслоениях, повышенной реакции на экологические факторы. Анализируются физиологические и психофизиологические механизмы развития указанных выше синдромов. Делается вывод о необходимости проведения целенаправленных работ по предотвращению эффектов сенсорной депривации как при подготовке, так и в период проведения космических полетов.

✱

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРДЕЧНОГО РЕЖИМА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УСКОРЕНИЙ КОРИОЛИСА

В. Н. АРТИШУК, В. Н. АЛЕКСЕЕВ, Н. Л. БОРУНОВ,
О. О. РЮМИН, И. М. КАЧКАЕВ, И. К. ТАРАСОВ

В целях исследования вестибуло-вегетативных реакций при воздействии ускорений Кориолиса использовалась методика изучения информационных характеристик сердечного ритма, основанная на интегральной оценке ряда кардиоинтервалов,— мера скорости создания разнообразия.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о возможности введения меры, определяемой как расстояние от центра области (центра расстояния) до индивидуального показателя обследуемого, что характеризует степень устойчивости сердечного ритма к воздействию ускорений Кориолиса.

Разработанное программное обеспечение на базе ЦВМ позволяет повысить оперативность получения информации для определения эффективности вестибулярных тренировок.

*

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ БОЛЕЗНИ ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АНТИОРТОСТАЗА

В. В. УСАЧЕВ, А. Н. ТРУЖЕННИКОВ, Ж. М. КУДРЯШОВА,
В. Н. КРУТЬКО

В целях выявления связи между гемодинамическими изменениями, обусловленными пребыванием человека в кратковременном антиортостатическом (-20 , -30° , до 2 ч) и длительном (-6° , 7 сут) положении, и переносимостью кумулятивных вестибулярных нагрузок (многократно действующие ускорения Кориолиса и прецессионные ускорения малых величин) проведены исследования на электровращающейся платформе и в условиях постельного режима.

Установлено, что кратковременное антиортостатическое положение не оказывает неблагоприятного влияния на переносимость человеком вестибулярных воздействий. В условиях 7-суточного антиортостаза (-6°) возрастал сердечный выброс, снижалось периферическое сопротивление кровотоку, уменьшалось пульсовое

кровенаполнение внутричерепных сосудов, отмечалось появление катакротического типа реоэнцефалограммы, свидетельствующего о затруднении венозного оттока из полости черепа. Ортопроба, проведенная на шестые сутки постельного режима, показала определенную детренированность сердечно-сосудистой системы, что проявилось в развитии трех случаев (из 10) преколлапса.

Воздействие ускорений Кориолиса сразу же после окончания антиортостатического положения не привело к изменению времени появления и развития тошнотно-рвотного рефлекса, но сочеталось со значительными сдвигами в системном (падение ударного и минутного объемов крови, возрастание скорости распространения пульсовой волны по аорте) и внутричерепном (снижение артериолярного тонуса) кровообращении.

Полученные результаты показали, что, несмотря на изменения в гемодинамике, обусловленные антиортостатическим положением, переносимость вестибулярных воздействий существенно не менялась. Полученные данные, однако, не дают возможности полностью исключить изменения в сердечно-сосудистой системе в качестве одного из условий, могущих усугубить развитие болезни движения в космосе.

*

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ АТМОСФЕРЫ ГЕРМОКАБИНЫ, ОСНОВАННОЙ НА КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

В. И. САВКИН

Важнейшим показателем надежности функционирования системы регенерации атмосферы является вероятность невыхода концентрации углекислого газа и кислорода в гермокабине из области допустимых значений. Рассматриваемая система отличается множеством типов поведения ее производительности и параметров атмосферы в аварийных ситуациях в зависимости от причины последних. В работе изложена методика оценки надежности системы с учетом отмеченной особенности. В качестве штатной принимается аварийная ситуация, при которой имеет место временное выключение источника света. К ней приводит большинство отказов в системе. При изменении других технологических параметров культура водоросли заменяется резервной. Показано, что надежность системы зависит от характеристик самой системы (безотказности, ремонтпригодности, запаса производительности, длительности функционирования), используемого штамма водоросли (длитель-

ности жизненного цикла, числа автоспор в делящейся клетке), процесса обслуживания (частоты и длительности сеансов), условий хранения резервной культуры, объема гермокабины и др.

*

НАРУШЕНИЕ РИТМА СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ПОЛЕТ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ТИПА «САЛЮТ»

Н. Е. ПАНФЕРОВА, Т. В. БЕНЕВОЛЕНСКАЯ

Изучалось состояние сердца методом электрокардиографии в условиях деятельности человека в обитаемых отсеках макетов орбитальных станций «Салют». Условия жизнедеятельности (микроклимат, питание, режим труда и отдыха и др.) были максимально приближены к полетным. Экипаж состоял из двух мужчин в возрасте 30—38 лет. В первом экипаже участвовали В-р и А-н, во втором — К-в и Б-й.

Во время исследований через каждые 3 ч регистрировалась электрокардиограмма в отведении DS. У испытуемых В-ра и Б-го не было выявлено каких-либо нарушений в деятельности сердца. У испытуемого К-ва, начиная с конца первых суток, наблюдалась политощная экстрасистолия. Наиболее часто (до 16 за 3,5 мин) она проявлялась в первые 11 сут, в последующем частота экстрасистол снижалась и колебалась на уровне от 0 до 6 экстрасистол за 3,5 мин. Испытуемый экстрасистолы не ощущал, работоспособность не нарушалась.

У испытуемого А-на на 27-е сутки исследований возник приступ мерцательной аритмии, протекающей по типу брадиаритмической формы: частота сердечных сокращений колебалась от 40 до 100 уд/мин. Длительность приступа была около 3 ч. Самочувствие испытуемого было удовлетворительным, работоспособность не изменилась, нарушения ритма он не ощущал.

При анализе возможных причин возникновения нарушений ритма вряд ли можно допустить, что причиной их является воздействие комплекса факторов жилых отсеков макета станции «Салют». В то же время резкое замедление частоты сердечных сокращений, наблюдаемое в этих условиях (среднесуточные значения около 45 уд/мин), свидетельствует об усилении влияния на деятельность сердца блуждающих нервов. Очевидно, до начала исследований у испытуемых уже имелись скрытые нарушения деятельности сердца.

Не исключено, что предрасполагающим фактором к возникновению нарушения ритма сердечной деятельности может явиться

также кумулятивное действие утомления, вызванного длительной напряженной деятельностью.

Одним из средств, предупреждающих возникновение этих нарушений, является тщательный отбор космонавтов в целях выявления скрытых нарушений регуляции сердечной деятельности.

✱

К ВОПРОСУ О БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ БИОМАССЫ ВОДОРОДНЫХ БАКТЕРИЙ В СВЯЗИ С ПЕРСПЕКТИВАМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПИЩЕВОГО БЕЛКА

В. И. ФОФАНОВ, А. И. УШАНОВ

Актуальность проблемы использования в питании нетрадиционных источников пищевого белка определяется установившимися представлениями о демографическом взрыве и возникающей в связи с этим проблеме пищевого белка. Их нетрадиционность как источника пищевых веществ, а в связи с этим и недостаточная изученность являются препятствием к использованию в питании. Исследовалась биомасса, полученная в установке УКМ-1, разработанная и изготовленная в Специальном конструкторском бюро биологического исследования и приборостроения АН СССР.

Для работы был взят штамм *Hydrogenomonas eutropha* Z-1. Выращивание бактерий велось в непрерывном плотностатном режиме культивирования. Полученная биомасса бактерий по химическому составу вполне соответствовала химическому составу таких традиционных пищевых продуктов, как казеин, и основным ее достоинством являлось высокое содержание белка — до 80%; количество углеводов в биомассе может колебаться от 5 до 20%, жира — от 6 до 8%. Эти колебания зависят от условий культивирования, что присуще всем одноклеточным. По-видимому, недостатком биомассы можно считать присутствие в ней полимера β-оксимасляной кислоты (до 30%), которая, по мнению исследователей, в организме животных и человека не усваивается.

Белки биомассы водородных бактерий электрофоретически близки к казеину.

На основании полученных данных можно считать, что проблема исследования безвредности и биологической ценности биомассы водородных бактерий как источника пищевого белка заслуживает внимания и требует проведения более широких исследований.

✱

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АККЛИМАТИЗАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЕ

В. П. ХМЕЛЬКОВ, В. В. КУРБАНОВ

Выраженными особенностями условий пребывания людей в Центральной Антарктиде являются длительная изоляция от внешнего мира, однообразие и монотонность обстановки, скудность зрительных впечатлений, относительная гипокинезия, гипоксия, сверхнизкая температура воздуха, сдвиг биологических ритмов и др. По характеру клинико-физиологических изменений, происходящих в организме, и по результатам изучения состояния симпатoadреналовой системы и обмена серотонина весь срок зимовки можно разделить на три периода: начальный период (январь—апрель), период полярной ночи (май—август) и период полярного дня (октябрь—декабрь).

Весь период годового пребывания на станции «Восток» сопровождался у всех полярников развитием стрессового состояния, причем наиболее выраженные изменения состояния симпатoadреналовой системы, характеризующиеся значительным повышением активности гормонального отдела, отмечались в период полярной ночи. Клинико-физиологический статус и активность симпатoadреналовой системы у полярников, впервые участвующих в экспедиции, характеризуются более выраженными изменениями по сравнению с таковыми у полярников, ранее бывавших в аналогичных экспедициях в Антарктиде и Арктике. Направленность изменений обмена серотонина на протяжении всего периода зимовки была сходна с направленностью изменений симпатoadреналовой системы. Сопоставление полученных изменений обмена катехоламинов и обмена серотонина с данными клинико-физиологического обследования показало их полное соответствие. Использование внутриконтинентальной станции «Восток» можно считать целесообразным в качестве уникальной естественной лаборатории для проведения медико-биологического изучения влияния на организм комплекса экстремальных факторов, которые могут встретиться в многомесячных космических экспедициях.

*

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАГОВОЙ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АНАЛИЗАТОРА

О. А. ВОРОБЬЕВ

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований по использованию пробы ходьбы на месте с закрытыми глазами для определения соотношения право- и левосторонних вестибуло-спинальных (соматических) реакций. Показано, что шаговая проба позволяет эффективно оценивать динамику функционального состояния вестибулярного анализатора после воздействия ускорений. Рассматриваются методические вопросы применения данной пробы: ее оптимальная длительность, необходимость предварительного раздражения вестибулярного анализатора и т. п. Дано экспериментальное обоснование возможности использования шаговой пробы в качестве теста для вестибулярного отбора и экспертизы. Выявлены характер и границы физиологических колебаний асимметрии спонтанных вестибуло-спинальных реакций с учетом особенностей профессиональной деятельности.

✱

О ВЛИЯНИИ ГИПОКИНЕЗИИ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ РЕАКЦИЮ ЛИХОРАДЯЩИХ ЖИВОТНЫХ

П. В. ВАСИЛЬЕВ, Г. Д. ГЛОД, Е. П. МЕЛЬНИКОВА,
С. И. СЫТНИК, Н. Н. УГЛОВА

В исследованиях на кроликах изучалось влияние 15- и 30-суточной гипокинезии на течение лихорадочной реакции как одного из типовых и часто встречающихся в патологии процессов. Пирогенал из культуры *S. typhi* в дозе 1 МПД/кг вводили в краевую вену ушной раковины на 15-е и 30-е сутки гипокинезии. Выявлено, что ограничение двигательной активности вызывает перестройку функции терморегулирующих центров. Во время экспериментальной пирогеналовой лихорадки у опытных животных наблюдается укорочение периода подъема ректальной температуры и удлинение послепиковой фазы цикла. Нарушается слаженность в работе отдельных звеньев системы теплопроизводства и теплоотдачи. Изменение чувствительности к пирогеналу сопровождается повышением чувствительности и к антипиретикам.

✱

О НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ЗРЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Е. А. ИВАНОВ, А. Я. ФРОЛОВ

Применительно к условиям звездного неба на 47 тренированных операторах с нормальным зрением было проведено экспериментальное изучение психофизиологических возможностей по зрительному обнаружению ИСЗ, результаты которого позволили выявить ряд закономерностей функционирования зрительного анализатора. В частности, была определена существенная зависимость времени обнаружения от дальности ИСЗ, а также от фона и ракурса наблюдения. Результаты экспериментов показали выраженную зависимость времени обнаружения и связанную с ним вероятность обнаружения (при ограниченном времени наблюдения) от двух независимых переменных: видимой угловой скорости движения ИСЗ среди звезд и величины его блеска. Кроме того, было выявлено, что увеличение плотности звездного фона (число звезд, приходящихся на единицу угловой поверхности неба) ведет к повышению времени обнаружения ИСЗ. Для оценки достоверности результатов лабораторных экспериментов по изучению психофизиологических возможностей операторов обнаруживать ИСЗ на фоне звезд была разработана методика и проведен подобный эксперимент на натурном небе с реальным ИСЗ.

*

УЗНАВАНИЕ ЯРКИХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕМНОМ ФОНЕ

Е. А. ИВАНОВ, А. Я. ФРОЛОВ

Задачей работы было выяснение особенностей узнавания сложносгруппированных моделей космических комплексов, состоящих из простых геометрических фигур (треугольник, квадрат, ромб, круг) в различных сочетаниях, на фоне изучения функционального состояния зрительного анализатора.

В целях выявления психофизиологических механизмов зрительного узнавания предъявляемых объектов сделан математический прогноз зависимости качества узнавания в функции характерных признаков геометрических фигур, который получил экспериментальное подтверждение. Анализ прогнозируемых и опытных психофизиологических показателей надежности позволил установить, что качество узнавания предъявляемого комплекса обратно пропорционально числу его составных элементов.

Анализ усредненных показателей бинокулярной ночной остроты зрения (НОЗ) операторов показал, что у большинства из них после выполнения цикла работ, равного 160 последовательным дискретным предъявлениям ярких объектов, отмечается зрительное утомление.

✱

О СООТНОШЕНИИ ОРТО- И АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА ДО И ПОСЛЕ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

А. В. БЕРЕГОВКИН, В. В. КАЛИНИЧЕНКО,
В. Ф. ЖЕРНАВКОВ

Состояние антигравитационных функций системы кровообращения изучено у 26 космонавтов, выполнявших полеты продолжительностью от 2 до 63 сут. Состояние системного кровообращения исследовалось с использованием современных комплексных методик. Складывается впечатление, что трудности адаптации к невесомости определяются разностью между исходными орто- и антиортостатической устойчивостями. По-видимому, повышение антиортостатической устойчивости при адаптации к невесомости не обязательно влечет за собой такой же выраженности ортостатическую детренированность. Показана возможность использования антиортостатических тренировок для повышения функциональных резервов системы кровообращения человека при адаптации его к невесомости. Дальнейшее исследование изменений антигравитационной функции в процессе выполнения космического полета позволит усовершенствовать способы повышения устойчивости к условиям изменяющейся гравитации.

✱

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ШУМОВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Ю. В. КРЫЛОВ

Влияние шумовибрационного фактора космонавт испытывает в течение всего полета. Специфическими для шумовибрационного воздействия являются: влияние низкочастотных вибраций и сверхинтенсивного шума на активном участке полета; действие шума

средней и малой интенсивности в течение всего полета; сочетанное влияние шума, вибраций и других факторов полета. При физиолого-гигиеническом регламентировании необходимо обосновать предельные уровни звукового давления акустических импульсов, шумов высокой интенсивности, шумов средней и малой интенсивности, влияющих на космонавта длительно и непрерывно.

Экспериментально показано, что с учетом действия комплекса факторов полета акустический импульс на уровне слухового прохода не должен превышать 150 дБ·А. На активном участке полета надежная (кратковременная) работоспособность обеспечивается при уровнях шума, не превышающих в свободном звуковом поле величин 125 дБ·А. Уровень шума в кабине в течение вахты или смены не должен быть более 70—75 дБ·А. В периоды сна и отдыха максимальные величины шума допускаются не выше 60 дБ·А. Практическая реализация полученных рекомендаций обеспечит сохранение здоровья и высокой работоспособности космонавта в течение всего полета.

*

МАТЕРИАЛЫ К ПРОБЛЕМЕ ЗАЩИТЫ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОТ БАРОТРАВМЫ ЛЕГКИХ

В. И. ПРОДИН, И. Н. ЧЕРНЯКОВ, Г. В. БОГОСЛОВОВ

Изучались механизмы развития, вопросы предупреждения и лечения баротравмы легких применительно к условиям покидания тонущего самолета. В 52 опытах на 23 собаках показано: при декомпрессии от 4 до 1 атм со скоростью 0,5—0,6 атм/с в условиях свободного прохождения воздуха по дыхательным путям баротравма легких не возникает даже у незащищенного животного. При наличии препятствия выходу воздуха из легких (обтурация трахеи) в условиях аналогичной декомпрессии у животных повышалось внутрилегочное давление на 50—150 мм рт. ст., что приводило к разрыву легочной ткани и развитию типичных проявлений баротравмы легких. В сравнительных экспериментах с декомпрессией при дыхании воздухом и кислородом показаны более благоприятное течение и исход баротравмы легких в условиях дыхания кислородом.

Применение высотно-компенсирующего костюма с пневмомеханической системой внешнего противодействия в области туловища предупреждало развитие баротравмы легких у животных при декомпрессии от 4 до 1 атм за 5—6 с. Баротравма легких предупреждалась созданием оболочкой костюма адекватного противодействия на тело, препятствующего чрезмерному растяжению ле-

гочной ткани даже при повышении внутрилегочного давления на 100—150 мм рт. ст.

Животных с выраженными признаками баротравмы легких подвергали лечению кислородом под повышенным до 4—3 атм давлением (гипербарическая оксигенация). Установлена высокая эффективность этого метода для купирования данного вида патологии.

*

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «САЛЮТ-5»

И. Д. ПЕСТОВ, В. А. ДЕГТЯРЕВ, А. С. НЕХАЕВ,
В. Н. ДОРОШЕВ, Н. А. ЛАПШИНА, В. Е. ПОТКИН, В. Н. РАГОЗИН,
В. А. САПОЖНИКОВ, В. Н. СИДОРОВ, О. Б. КУЛИКОВ

Рабочая программа полета орбитальной научной станции «Салют-5» предусматривала решение большого объема научных и народнохозяйственных проблем. В начальный период адаптации к невесомости у всех четырех космонавтов были выражены объективные признаки усиленного притока крови к голове. У Б. В. Волынова и В. М. Жолобова постепенно развились признаки утомления и астенизации, более выраженные у бортинженера. Зарегистрировано небольшое, но достаточно стойкое повышение артериального давления, скорости распространения пульсовой волны, венозного давления. У В. М. Жолобова наблюдалось снижение ортостатической устойчивости, которое нарастало к концу полета. Восстановление ортостатической устойчивости произошло спустя две недели после окончания полета.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРДЕЧНОГО РИТМА ОПЕРАТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕВЕСОМОСТИ И ПЕРЕГРУЗОК, ВОСПРОИЗВОДИМЫХ В САМОЛЕТЕ-ЛАБОРАТОРИИ

А. А. ПРУССКИЙ, В. Н. ТРОФИМОВ

Проведено исследование информационных характеристик сердечного ритма в целях оценки психофизиологической устойчивости оператора при воздействии невесомости и перегрузок, воспроизводимых в самолете-лаборатории. Информационными характе-

ристиками сердечного ритма служили оценки меры скорости создания разнообразия ряда кардиоинтервалов. На основании анализа полученных результатов сделаны следующие выводы: воздействие невесомости на организм оператора приводит к снижению уровня организации сердечного ритма; наибольший уровень перенастройки сердечного ритма происходит при воздействии на организм оператора невесомости в переходном режиме при чередовании «перегрузка — невесомость»; посредством специальных тренировок можно повысить психофизиологическую устойчивость оператора к воздействию перегрузок и невесомости.

✱

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА БИОРИТМОВ В ПРАКТИКЕ КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

И. Ф. САРАЕВ, В. М. УСОВ

Учение о биологических ритмах в настоящее время активно внедряется в практику авиационной и космической медицины. В связи с этим актуальным является вопрос формирования количественных критериев в биоритмологии.

Наиболее перспективными направлениями использования количественных критериев применительно к задачам космической медицины являются следующие: выявление и оценка достоверности наличия биоритмов физиологических функций организма космонавта и составление картотеки фоновых данных для построения нормативных значений к предстоящим космическим полетам; исследование индивидуальных особенностей перестройки циркадных ритмов при сдвиге «сон—бодрствование» у отдельных членов экипажа, установление сроков и полноты адаптации к новому режиму и, наконец, оптимальное комплектование экипажа по биоритмическим критериям; исследование динамики состояния здоровья космонавтов в процессе подготовки, изучение структуры сезонных заболеваний на протяжении года в интересах рационального планирования и проведения профилактических мероприятий, своевременной корректировки программ подготовки.

✱

**ОСВЕЩЕННОСТЬ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ
ДИСПЕТЧЕРОВ УВД
И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
ДЛЯ ИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

И. Д. СЕМИКОПНЫЙ

Зрительная работа диспетчеров УВД во многом определяет эффективность их деятельности в целом. Для оптимизации условий работы указанной категории специалистов МГА была изучена зависимость между освещенностью рабочих мест и состоянием зрительных функций диспетчеров УВД по показателям темновой адаптации, аккомодации остроты ночного и дневного зрения на рабочих расстояниях.

Установлено, значительное колебание освещенности в различных аэропортах, что зависит как от климато-географических условий, так и от вариантов компоновки рабочих мест.

На основании проведенных исследований сделаны конкретные рекомендации по величинам освещенности, параметрам внешней избыточной яркости и использованию корректирующих очков.

✱

**К ВОПРОСУ О КЛИНИКО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОМ
ИССЛЕДОВАНИИ ПИЛОТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
С ПАРОКСИЗМАЛЬНЫМИ РАССТРОЙСТВАМИ
СОЗНАНИЯ**

С. Г. СВИНИННИКОВ

Проблема острого нарушения сознания относится к одной из наиболее сложных и актуальных в авиационной медицине. Исследовано 125 лиц летного и курсантского состава гражданской авиации, перенесших пароксизмальные расстройства. На основании данных психопатологического исследования и экспериментально-психологического обследования были установлены наиболее значимые симптомокомплексы, адекватные указанным состояниям, а также проведена сравнительная оценка эффективности различных методик для выявления пароксизмальных расстройств у пилотов.

✱

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ НА БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ

Л. С. ХАЧАТУРЬЯНЦ

Каждая наука имеет свою теоретическую базу и свою область практического применения. Психофизиология труда космонавтов в этом плане еще находится в пути, она еще накапливает свои собственные методы исследования, свои теории. Она опирается на каноны общей психофизиологии труда, разделы общей и авиационной психофизиологии. В то же время, имея конкретную, необычную и актуальную область практического применения, психофизиология труда космонавта, решая свои задачи, расширяет, развивает методы и теории общей психофизиологии. Если проанализировать бурный рост психофизиологии труда космонавта, ее растущее воздействие на всю медико-биологическую систему космических исследований, можно предположить, что тенденция ее развития будет усиливаться, количество и глубина проблем, которые будет решать эта наука, — увеличиваться.

В работе разбираются основные проблемы психофизиологии труда космонавта применительно к этапам его подготовки и реализации космического полета, а также их тематическое раскрытие.

*

ИЗБЫТОЧНЫЙ ВЕС И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ПИЛОТА

В. С. ЮРАСОВ, И. В. ДАВЫДОВА

Избыточный вес приводит к снижению многих важных функций организма и при определенных условиях может влиять на состояние здоровья и работоспособность пилота.

Проведенные исследования показали, что в практике авиационной медицины пока отсутствует единая организационно-методическая схема борьбы с избыточным весом. Так, при пользовании таблицами Егорова и Левитского допускается очень значительная гиподиагностика ожирения (до 8%). При расчетах по индексу Брока выявляемость избыточного веса (более 10% сверх нормы) резко возрастает и достигает уже 40%.

Необходимо выработать наиболее объективный метод определения избыточного веса у пилотов, что позволит сделать более конкретной и целенаправленной профилактическую работу. Особое внимание следует обратить на связь между избыточным весом

у пилотов и снижением функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы.

Важным и сложным представляется вопрос об изменении структуры диеты для пилотов путем небольшого снижения калоража за счет углеводов и жиров. Следует обсудить вопрос о наиболее рациональных организационных мероприятиях, обеспечивающих снижение веса в период отпуска (создание специальных восстановительных центров и др.).

✱

ОСОБЕННОСТИ РЕЧЕВОЙ АРТИКУЛЯЦИИ В ПОДМАСОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ

В. С. КУЗНЕЦОВ, Г. И. ТАРАСЕНКО

В работе получены характеристики акустических условий при артикуляции речи в подмасочном пространстве кислородной маски КМ-34 на высотах 4000—12000 м. Представлены особенности разборчивости речи при использовании под маской различных микрофонов в указанном диапазоне высот. Проведена оценка маскирующих свойств шумов в подмасочном пространстве на различных высотах на качество разборчивости речи.

✱

АВИАЦИОННАЯ И КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

О ДОСТАВКЕ ЛУННОГО ГРУНТА НА ЗЕМЛЮ БЕЗ РАКЕТ

Ю. Ф. АВДЕЕВ, В. И. КЛИМОВ

Показана принципиальная возможность создания транспортной системы Луна—окрестность Земли, осуществляемой с помощью троса в виде петли, закрепленного на Луне и проходящего через точку либрации системы Земля—Луна, находящуюся между Землей и Луной. При этом трос системы должен иметь длину, превы-

шающую минимально возможное значение, необходимое для натяжения троса силами притяжения гравитационного поля Земли.

После начального принудительного вращения системы примерно в течение полувитка дальнейшее движение осуществляется за счет разности сил притяжения, действующих на загруженную и незагруженную ветви троса. Загрузка системы производится на Луне, например, в тележки, закрепленные на тросе через определенные расстояния. Приводятся данные о минимальной критической длине, необходимой для натяжения троса гравитационным полем Земли, растягивающие усилия в тросе при различных расстояниях от Земли до Луны, расчет весовых характеристик троса и грузопотока, характеристики требуемых материалов для создания системы, рассматриваются возможные направления использования предлагаемой транспортной системы.

*

К ВОПРОСУ О ДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЕ СИСТЕМЫ ДВУХ ТЕЛ, СОЕДИНЕННЫХ ШАРНИРНО

Н. Г. БЕЛЕЦКАЯ

Предлагаются уравнения первого приближения управляемой механической системы двух упругих тел, соединенных шарнирно. Уравнения могут быть положены в основу анализа динамических особенностей объекта регулирования и синтеза системы управления.

*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЫСТРОХОДНЫХ ВОЛНОВЫХ РЕДУКТОРОВ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ВЕРТОЛЕТОВ

В. С. ДУДНИКОВ, О. М. ОСИПОВА, В. Д. ЗАГИНАЙЛО

В работе рассмотрены возможность применения и особенности проектирования волновых редукторов для привода несущего винта вертолета с газотурбинным двигателем. Проведен анализ габаритно-весовых характеристик предлагаемого и существующих главных редукторов на примерах вертолетов Ми-8, Ми-2 и др.

Выявлены существенные преимущества при использовании волнового редуктора. Приведен ряд компоновочных схем волнового редуктора с газотурбинными двигателями различных

типов. Рассмотрены особенности проектирования быстроходной волновой передачи и динамические явления, возникающие при ее работе. Даны расчетные формулы для оценки основных динамических и габаритных параметров передачи.

*

О ДВУХ ОСОБЕННОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ДВУХЗВЕННИКА В АТМОСФЕРЕ

Л. А. ЕФРЕМЕНКО

Исследуются вопросы динамической устойчивости движения летательного аппарата с шарнирно-упругим соединением его элементов, взаимодействующих с потоком. Разработана математическая модель пространственного движения двухзвенника. Дифференциальные уравнения движения приведены к форме, позволяющей производить численное интегрирование. Отмечается трудоемкость численного метода анализа. Показано, что точные решения исходной нелинейной системы дифференциальных уравнений удовлетворительно согласуются (в пределах малого изменения угловых координат) с решениями линеаризованной модели движения двухзвенника. Исследования линеаризованной модели проведены с использованием метода Д-разбиений в плоскости двух параметров, одним из которых являлась жесткость упругой связи, а другим — соответственно относительное местоположение шарнира. Массовые и инерционные соотношения элементов двухзвенника и сила взаимодействия элементов, показали, что шарнирно-упругое соединение элементов летательного аппарата при соответствующем выборе названных параметров обеспечивает динамическую устойчивость движения, которая отсутствовала бы в случае жесткой реализации летательного аппарата. Вместе с тем шарнирно-упругое соединение элементов позволяет исключить движение летательного аппарата на втором паразитном балансировочном угле атаки в 180° . Получены также приближенные аналитические зависимости для границ областей устойчивости по величине жесткости упругой связи.

*

ДЕМПФЕРЫ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ГОФРИРОВАННЫМИ ПРОСТАВКАМИ В МАГИСТРАЛЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ю. С. МИХЕЕВ, Д. Н. ЯРЕМЕНКО

Изучается возможность применения демпферов низкочастотных периодических колебаний давления жидкости в магистралях летательных аппаратов. Конструкция устройств для гашения продольных периодических волн известна. Работают они по принципу акустического фильтра низких частот и конструктивно выполнены в виде отрезка трубы, заглушенного с одного конца, с длиной, равной половине длины гасимой волны колебаний давления. Отрезок трубы располагается так, чтобы отводящая магистраль находилась на расстоянии четверти длины волны от заглушенного конца. Длина l демпфера определяется скоростью звука в жидкости и частотой ν гасимой волны в соответствии с формулой $l = c/2\nu$. Недостатком описанного демпфера являются значительные габариты и невозможность подстройки его на частоту гасимой волны.

Предлагается в описанном демпфере для сокращения габаритов и создания возможности подстройки на заданную частоту гашения плечи его выполнять из двух коаксиальных отрезков труб, а во внутренней полости плеч поставить гофрированные проставки — сильфоны, заглушенные с одного конца.

*

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА УДАРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА О ПОВЕРХНОСТЬ ДЕФОРМИРУЕМОГО ГРУНТА

Л. В. ПЕТРОСЯН, С. П. БУСЛАЕВ

В работе излагается метод расчета движения (устойчивости) многоопорного посадочного аппарата (ПА) при ударе о поверхность деформируемого грунта. Математическая модель рассматривает поведение абсолютно жесткого корпуса с шестью степенями свободы движения, к которому присоединено n опор, каждая из которых в свою очередь имеет одну степень свободы движения (такая конструкция была применена на космическом аппарате типа «Луна» и «Сервейер»). Для решения поставленной задачи используются четыре прямоугольные системы координат: планетная, наклонная (связана с неровностями на поверхности в месте посадки), связанная и подкосовая (связана с конструкцией опоры ПУ). При решении задачи удара грунт рассматривается как по-

верхность с широким диапазоном механических свойств, имеющим упругопластическую характеристику. Имея такие параметры, как массово-инерционные характеристики, скорость ПА у поверхности, рельеф в месте посадки, перегрузки при ударе о поверхность деформируемого грунта (рассматривая ПА как штамп), этот метод позволяет определять механические характеристики, например прочность грунта в месте посадки.

✱

К ВОПРОСУ О ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ КОМПОНОВОК КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ПОЕЗДОВ ЦИОЛКОВСКОГО С НЕОДНОРОДНЫМИ МОДУЛЯМИ

Л. И. СЛАВКИЙ

В работе даны структурные рекуррентные уравнения для двух типов пакетных компоновок составных ракет с неоднородными модулями: без гидравлической связи между модулями различных ступеней и с переливом топлива. Для второго варианта, например,

$$\alpha_i = \frac{\mu_{ki} [1 - \mu_{ki} (a_{\rho i}^{\rho} + a_{\sigma i}^{\sigma})]}{\mu_{ki} (1 - a_{\rho i}^{\rho} - a_{\sigma i}^{\sigma}) + \Pi_{0i} (a_{\varphi i}^{\varphi} - a_{s i})} +$$

$$+ \frac{\mu_{ki} (1 - \mu_{ki}) [1 + (a_{bi} + a_{\rho i}^{\rho}) \beta_{ii} + (a_{bi} + a_{\eta i} - a_{\sigma i}^{\sigma}) \beta_{i+1} + k_i]}{\mu_{ki} (1 - a_{\rho i}^{\rho} - a_{\sigma i}^{\sigma}) + \Pi_{0i} (a_{\varphi i}^{\varphi} - a_{s i})} -$$

$$- \mu_{ki} a_{bi} \left[\frac{(1 - \mu_{k1}) \beta_{i1}}{\Pi_{j=1}^{i-1} \alpha_j} + \dots + \frac{(1 - \mu_{ki-1}) \beta_{i, i-1}}{\alpha_{i-1}} \right] -$$

$$- \Pi_{0i} \left\{ (1 - \mu_{ki}) [(a_{mi} + a_{si}) \beta_{ii} + (a_{mi} + a_{ki}) \beta_{i+1} + ik_i] + \right.$$

$$+ a_{\theta} \mu_{ki} + a_{mi} \left[\frac{(1 - \mu_{k1}) \beta_{i1}}{\Pi_{j=1}^{i+1} \alpha_j} + \dots + \frac{(1 - \mu_{ki-1}) \beta_{i, i-1}}{\alpha_{i-1}} \right] +$$

$$\left. + j_{ji} \mu_{ki} v_i \frac{P_{0\sigma i}}{P_{0i}} \right\},$$

где α_i — отношение начальных масс ступеней: $a_{\rho i}^{\rho}$, $a_{\sigma i}^{\sigma}$, $a_{\varphi i}^{\varphi}$, $a_{s i}$, . . . — аналитические модели элементов конструкции, учитывающие их нагружение комплексом внешних сил и моментов.

Представлены геометрические отображения элементов модуля и условия непересечения частей пространства, занимаемых сопрягаемыми элементами. Предложена общая схема параметрического синтеза компоновок ракет, включающая типы конструкций и материалов, комплексы внешних нагрузок, условия прочности и ус-

тойчивости силовых элементов, а также ограничения по предельным напряженному и деформированному состояниям.

На основе структурных и кинематических уравнений, аналитических моделей элементов при заданных начальных, граничных условиях и ограничениях по реализации альтернативных технических решений строится поиск глобального экстремума целевой

функции $J = \sum_{i=1}^N \ln \alpha_i$ (N — число ступеней).

*

К ВОПРОСУ О ПОЛЕЗНОЙ ВЕСОВОЙ ОТДАЧЕ КОМБИНИРОВАННОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА-КРАНА

О. А. ЧЕМБРОВСКИЙ, М. Ф. КУЛАШЕВ

В последнее время в практике монтажного производства все шире применяются вертолеты в качестве летающих кранов. Как грузоподъемный механизм вертолет не зависит от наземных условий стройплощади, легко перемещается на любые расстояния, обладает практически неограниченной высотой подъема груза и высокой производительностью. Однако вертолет обладает и рядом недостатков: высокой стоимостью летного часа; наличием мощной струи воздуха от винта, обладающей высоким скоростным напором и воздействующей на монтируемые конструкции и на монтажников; низкой полезной весовой отдачей; кратковременностью работы в режиме висения.

Анализ показал, что одной из наиболее перспективных схем крана является комбинированная, сочетающая в себе преимущества аппаратов тяжелее и легче воздуха. Отличительной их особенностью является полная или частичная компенсация собственного веса аппарата аэростатической силой оболочки, заполненной легким газом, и обеспечение грузоподъемности за счет подъемных силовых оболочек.

Проведено сравнение, показавшее, что при этой схеме, в частности, возрастают полезная весовая отдача летающего крана и его грузоподъемность при одинаковых затратах энергии.

*

СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ МЯГКИХ ТКАНЕЙ СПИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОЗВОНОЧНИКА

К. Г. БОМШТЕЙН, В. А. ЛЯПИН, В. А. ЭЛИВАНОВ

Определенную роль в снижении нагрузок на позвоночник и уменьшении его деформации при ударных воздействиях играют силы трения между телом и одеждой. Поддерживающий эффект сил трения обнаруживается при достижении предельного значения смещения мягких тканей относительно позвоночника под действием этих сил.

Приводятся результаты экспериментального определения предельных максимальных смещений мягких тканей спины относительно позвоночника при действии касательных сил и ступенчатом нарастании нормальных сил для двух групп испытуемых-мужчин в возрасте до 40 лет с развитой мускулатурой, с малой (I группа) и умеренной (II группа) толщиной подкожного слоя.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Для всех режимов нагружения в двух группах испытуемых зависимость смещений от приложенной касательной силы носит нелинейный характер. С увеличением нормальной нагрузки предельные максимальные значения смещений уменьшаются. Уменьшение предельных максимальных значений может быть объяснено уплотнением мягких тканей при нарастании нормальной силы.

2. Так как толщина подкожного слоя у испытуемых I группы весьма мала, то представляется маловероятным дальнейшее ее сколько-нибудь значительное уменьшение с ростом нормальной силы. Поэтому для практических инженерных расчетов рекомендуемый диапазон максимальных предельных смещений мягких тканей спины относительно позвоночника в условиях действия значительных перегрузок в направлении грудь—спина составляет 10—12,5 мм.

*

РАСЧЕТ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА В БОКОВОМ НАПРАВЛЕНИИ

К. Г. БОМШТЕЙН, В. А. ЛЯПИН, В. Н. ПРАВЕЦКИЙ

Переносимость ударных перегрузок определяется параметрами действующего импульса и взаимодействием тела человека и опорной поверхности. Исследование взаимодействия тела человека с опорной поверхностью требует знания жесткостных характеристик грудной клетки. При определении деформации грудной клетки в боковом направлении использовалась дискретная модель в виде набора пар тонкостенных криволинейных стержней эллиптического кольцевого сечения, соединенных шарнирно. Расчет проводился методом сил с использованием геометрических и упругих характеристик соответствующих реберных пар. Результаты расчета сопоставлены с экспериментальными данными.

Предложенная математическая модель позволяет проводить исследование деформативных и прочностных свойств грудной клетки, а также оценивать влияние на эти свойства геометрических, инерционных и упругих параметров отдельных реберных пар при действии ударных перегрузок в боковом направлении.

*

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А. В. МАКАРЫЧЕВ

Длительное воздействие вибраций на человека, например, в условиях космического полета может вызвать изменение его физиологического и функционального состояния. В работе рассмотрено исследование вынужденных колебаний в трехмерном пространстве тела сидящего человека.

Экспериментальные исследования были выполнены в лабораторных условиях в диапазоне частот от 1 до 20 Гц. Измерение динамических реакций тела человека осуществлялось по трем линейным и трем угловым координатам в двух точках: в точке головы человека, расположенной в области теменной кости черепа, и в точке туловища, находящейся на уровне 2—4-го грудных позвонков позвоночного столба скелета человека.

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Характер распределения резонансных максимумов и числовые значения параметров колебаний тела человека существенным образом зависят от направления действия вибраций.

2. При вибрационном воздействии, направленном вдоль позвоночного столба тела сидящего человека, обнаружено от одного до трех резонансов в окрестности частот 2, 4, 9 и 14 Гц. Горизонтальные гармонические вибрации «сиденья» в продольном и поперечном направлении вызывают появление одного-двух резонансных максимумов на частотах 2—2,5; 4—5 Гц.

3. Амплитуды колебаний, измеренные на голове человека, как правило, в 1,5—2 раза превышают соответствующие амплитуды колебаний, измеренные на его туловище.

4. Вынужденные колебания человека в трехмерном пространстве можно достаточно точно описать двухмассовой механической колебательной системой.

*

О ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ

А. В. НОВИКОВ, Б. А. ПОТЕМКИН

В работе рассматривается вибрация как неблагоприятный для человека фактор окружающей среды. Известные в настоящее время подходы к оценке вибраций с точки зрения их влияния на человека сводятся к установлению предельно допустимых характеристик вибрационных процессов. Между тем для прогнозирования физиологического состояния и работоспособности человека-оператора в условиях действия вибраций необходим алгоритм, с помощью которого по заданным характеристикам вибрационного процесса можно рассчитать степень биологического действия, производимого этим процессом. Такой расчет не только даст возможность определить предельно допустимые параметры вибрации, но и позволит осуществлять более тонкую и дифференцированную оценку действующих на человека вибраций.

Предложен метод расчета биологического действия вибраций, обеспечивающий возможность оценки детерминированных и случайных, стационарных и нестационарных, гауссовых и негауссовых вибрационных процессов, а также дающий возможность при оценке биологического действия вибраций учитывать влияние различных факторов (линейных ускорений, невесомости, температуры и т. д.), которые уже изменили состояние организма человека до начала действия рассматриваемого вибрационного процесса. Используемый в работе алгоритм, основанный на примене-

нии оператора Лихтенштейна — Ляпунова, удобен не только для выполнения прогнозирующих расчетов, но и для экспресс-оценки натуральных вибраций в реальном масштабе времени.

*

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ, ДЕЙСТВУЮЩЕМ СО СТОРОНЫ СТОП

А. С. АРУИН, В. М. ЗАЦИОРСКИЙ, Г. Я. ПАНОВКО,
Л. М. РАЙЦИН

Удобным способом оценки биомеханических характеристик нижних конечностей человека является определение реакции на известное нестационарное воздействие, например на вибрационное возбуждение, действующее со стороны стоп. Рассчитываемые при этом с помощью амплитудно-частотных характеристик эквивалентные биомеханические характеристики отражают жесткодемпфирующие свойства нижних конечностей.

В эксперименте по определению биомеханических характеристик нижних конечностей приняли участие 7 мужчин. Частота возбуждения изменялась в диапазоне частот 2—70 Гц. Величина вибрационного воздействия, оцениваемая по уровню виброскорости, поддерживалась в заданных пределах с помощью саморегулирующейся системы замкнутого типа и в зависимости от задач исследования принимала фиксированные значения: 0,02; 0,05; 0,08; 0,1 м/с.

Показано, что амплитудно-частотные характеристики тела человека, находящегося на столе вибратора в полуприседе с опорой на всю стопу, имеют два максимума: один — на частоте 2,5 Гц, второй — 12 Гц. Тело человека может быть представлено в виде двухмассовой колебательной системы (одна масса включает массу головы, туловища с верхними конечностями и бедра, а вторая — массу голеней и стоп).

*

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗВИТИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СВЯЗИ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА

С. В. ПЕТУХОВ

В работе рассмотрены задачи оптимальной организации рабочего места оператора в летательных аппаратах в связи с возможностью использования основного инварианта проективной геометрии.

*

О ПРЕРЫВНОМ АФФЕРЕНТНОМ КОНТРОЛЕ И ЕГО ВЛИЯНИИ НА БЫСТРЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В. А. БОГДАНОВ, В. Г. ОСТАПЧУК

Было выполнено экспериментальное исследование движений в тазобедренном шарнире ноги экзоскелетона с присоединенными к ней массами, имитирующих качание ноги человека при переносе в ходьбе.

Показано, что при двухпараметрической стабилизации (по отклонениям угловой скорости и положения), обеспечиваемой прямоугольными силовыми импульсами, целесообразно измерять отклонения не позже момента включения управляющего импульса. Тогда можно достигнуть равного качества устранения и положительных и отрицательных отклонений.

Подтверждено, что имеется физическая возможность разомкнутого программного управления движением в суставе с помощью силовых импульсов, когда стабилизация достигается благодаря прерывному контролю кинематических параметров в редкие моменты времени, программно связанные с управляющими импульсами и предшествующие им.

Подобный способ управления может быть источником ошибок при быстрых движениях космонавтов, одетых в скафандры с избыточным давлением. Это обстоятельство должно учитываться в процессе тренировок, которые способствовали бы выработке у космонавта не только новых программ развития мышечных сил, но и новых программ афферентного контроля.

*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

В. В. МАЛОЗЕМОВ, В. С. ПИЧУЛИН, В. А. ТОМСКИЙ

В работе рассмотрена задача построения математических моделей сложных объектов обеспечения теплового режима. С точки зрения исследователя и проектировщика объект обеспечения теплового режима может быть рассмотрен, во-первых, как элемент системы обеспечения теплового режима и, во-вторых, как относительно самостоятельная и весьма сложная система. Соответственно имеют место два подхода к математическому описанию объекта: в первом случае разрабатываются и используются приближенные модели, а во втором — применяются методы системного (агрегатного) подхода, состоящие в разбиении объекта на элементы, для каждого из которых строятся математические модели с учетом взаимосвязей между элементами.

Проведенный анализ существующих систем обеспечения теплового режима показал, что может быть предложено деление объекта на следующие элементы: газовая среда; приборно-агрегатная зона; оболочка (стенка); тепловой мост (стержень).

Математическое описание каждого из рассмотренных элементов приводит в общем случае к системе нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа, дополненной уравнениями переноса тепла излучением, решение которой производится конечно-разностными методами. Особое внимание уделено построению эффективных, абсолютно устойчивых, разностных схем, обладающих высоким быстродействием.

*

ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ С ТЕРМОДИОДАМИ

Л. В. КАЛАЧЕВА, Э. П. СМИРНОВ

Предложено для отсечения внешних тепловых потоков и сброса тепла из системы при их уменьшении использовать систему термостабилизации с термодиодами. Это достигается введением между излучателем и термоаккумулятором термодиодов.

В работе приводятся принцип получения диод-эффекта, конструкция и характеристики термодиода. Дано аналитическое описание системы в нестационарном режиме в виде системы уравнений в конечных разностях. Для решения системы составлена программа и проведены расчеты температурных полей. Рассчитана

эффективность системы с термодиодами при заданных тепловых режимах. За критерий эффективности принята удельная масса системы. Даны описание экспериментальной установки, методика проведения испытаний, приведены экспериментальные результаты. При работе в режиме теплосброса термическое сопротивление блока из четырех термодиодов составляло 0,1 град/Вт. При изменении направления потока на обратное термосопротивление блока термодиодов резко возрастало и составляло 30 град/Вт. Обратный тепловой поток через каждый термодиод составил 0,65 Вт. Отношение термических сопротивлений в режимах «открыто» и «заперто» блока из четырех диодов составило 1/300.

Предлагаемая система с термодиодами позволяет значительно сократить массу термоаккумуляторов, снизить время захлаживания между циклами работы, конструктивно упростить систему.

*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УСЛОВИЙ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА С ЭРГНОМИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Р. Ф. АФАНАСЬЕВА, И. И. БОГАЧЕВ, А. П. ЛЕБЕДЕВ

Выбор параметров среды обитания должен учитывать ряд эргономических факторов, например теплоизоляцию одежды, уровень активности, обычно не учитывающихся в традиционных методах и оценках.

Целью предпринятых экспериментов было получение регрессионного уравнения, связывающего температуру воздуха, при которой обеспечивается тепловой комфорт со скоростью воздуха, теплоизоляцией одежды, удельной теплопродукцией и относительной влажностью. Предполагалось, что температура воздуха равна температуре ограждений.

Обработка полученных экспериментальных данных проводилась на ЦВМ с использованием обычных методов регрессионного анализа. В результате были получены оценки коэффициентов уравнения для температуры воздуха, средневзвешенной температуры кожи, средневзвешенного теплового потока с кожи, локальных тепловых потоков, локальной температуры кожи и влагопотерь.

Проведенная экспериментальная работа показала, что аналитическая методика расчета параметров среды обитания, обеспечивающих тепловой комфорт, дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными (в узловых точках) с точностью $\pm 1,4^\circ\text{C}$. Предложенная авторами аналитическая методика обеспечивает адекватные результаты определения теплопотерь кон-

векцией. В рассматриваемом диапазоне микроклиматических факторов применение закона Стефана—Больцмана для расчета теплотерь излучением не целесообразно, так как усложняет расчет и не увеличивает точности прогноза.

✱

О ФИЗИЧЕСКОМ МАСШТАБНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО ПЕРЕНОСА В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАМКНУТЫМ ОБИТАЕМЫМ ОБЪЕКТАМ

П. П. ПАНЫЧЕВ, В. Ф. РОЖНОВ

В работе проведена оценка погрешности, вносимой в масштабную модель использованной математической моделью. К процессам конвективного переноса газовых сред могут применяться две математические модели: вязкого газа и несжимаемой термически деформируемой вязкой жидкости. Применительно к процессам конвективного переноса в замкнутых обитаемых объемах для этих моделей получены упрощенные системы определяющих критериев. Показана возможность оценки степени подобия гидродинамики природы и модели при использовании полуэмпирической теории турбулентных затопленных струй. Дан анализ результатов для математических моделей, использующих критерии вязкого газа и несжимаемой жидкости. Даны рекомендации по применению математических моделей несжимаемой термической деформируемой вязкой жидкости и вязкого газа.

✱

К РАСЧЕТУ ПОТОКОВ СОБСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ЭЛЕМЕНТЫ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А. Г. БРУК, В. В. МАЛОЗЕЛОВ

Рассматривается метод приближенного определения потоков собственного излучения Земли на элементы поверхности летательного аппарата (ЛА) произвольной конфигурации с учетом затенений. Хотя величина указанных потоков относительно невелика по сравнению с потоками солнечной радиации, в ряде случаев необходимо их вычисление с высокой точностью.

Предлагаемый численный метод основан на разбиении поверхности Земли на зоны. При этом определение потоков собственного излучения Земли сводится к вычислению площадей миделя рассматриваемых элементов поверхности ЛА по направлениям от центров зон разбиения. Точность методов возрастает с увеличением числа зон, и в пределе результат сходится к точному решению.

С помощью моделирования на ЭВМ получено несколько типов разбиений, для каждого из них найдены оптимальные значения параметров в зависимости от высоты орбиты ЛА. Качество разбиений оценивалось по отклонениям локальных угловых коэффициентов для элементарных площадок от точных значений с помощью среднеквадратической интегральной оценки.

Полученные результаты проверены при выполнении расчетов потоков собственного излучения Земли на поверхности различной формы. Расчеты показали, что оптимальный выбор параметров разбиений дает возможность получить высокую точность при сравнительно небольшом числе зон.

✱

ВЕСОВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С. Н. КУТЕПОВ, С. Н. ЛОГИНОВ, В. В. МАЛОЗЕМОВ,
В. Р. ПРОКОФЬЕВ

В работе рассматривается система обеспечения теплового режима (СОТР) летательных аппаратов (ЛА), состоящая из двух жидкостных контуров, связанных между собой промежуточными теплообменниками. Тепло отводится с помощью радиатора. Определяется водяной эквивалент в промежуточном контуре из условия минимума массы радиатора и эквивалентной добавки массы, пропорциональной мощности на прокачку. Задача минимизации целевой функции при ограничениях решается методом неопределенных множителей Лагранжа. Показывается принципиальная возможность решения задачи выбора оптимальных параметров СОТР этим методом.

✱

МЕТОД АНАЛИЗА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

В. М. ЗАЛЕТАЕВ

На множестве $L_S 2T$ периодических по x функций $f(x)$, интегрируемых на интервале периодичности $\alpha \leq x \leq \alpha + 2\pi$, вводится интегральный оператор

$$S_1(f; \alpha) = \frac{1}{2T} \int_{\alpha}^{\alpha+2T} \frac{\lambda T}{sh\lambda T} e^{\lambda(x-\alpha-T)} f(x) dx.$$

Рассматриваются его свойства, а также свойства кратных интегральных преобразований функций $f(x) \in L_S$. Дается формула разложения кратного периодического интегрального оператора на сумму элементарных:

$$S_{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n}(f; \alpha) = \sum_{i=1}^n c_i(\lambda_1, \dots, \lambda_n) S_{\lambda_i}(f; \alpha),$$

где $c_i(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ — дробно-рациональное выражение параметров λ_i ; $\lambda_i \neq \pi \sqrt{-1}$ — различные комплексные параметры преобразования.

На основе обнаруженных свойств рассматриваемого класса интегральных преобразований получено обращение периодических линейных дифференциальных и определенного класса интегро-дифференциальных линейных систем, описывающих стационарные температурные поля по тонкостенным цилиндрическим (в широком смысле) корпусам летательных аппаратов, а также установившийся, периодический по времени нестационарный тепловой режим различных систем и элементов ЛА.

*

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ

В. Р. ОЛЬШВАНГ, О. А. САФОНОВ, А. К. АМЕЛЬКИН,
В. С. ДОРОЖКИН

Показана целесообразность: проверки схемы систем терморегулирования на существование автоколебаний; проверки возможности с заданной точностью поддерживать температуры жидкости и воздуха в широком диапазоне изменения внешних темпера-

тур и внутренних нагрузок; определения параметров агрегатов автоматики, обеспечивающих устойчивую и точную работу системы для использования известных импульсных регуляторов температуры воздуха и жидкости; определения законов управления регулирующими органами, обеспечивающих устойчивость, ресурс и работоспособность регуляторов в широком диапазоне изменения внешних температур и внутренних нагрузок на математических моделях на этапе эскизного проектирования по требуемым параметрам.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИМПУЛЬСНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В. Р. ОЛЬШВАНГ, О. А. САФОНОВ, А. К. АМЕЛЬКИН,
В. И. ШАЙКОВ

В работе на основании конкретной системы терморегулирования (СТР) с импульсным регулятором температуры была поставлена задача разработки математической модели системы и исследования на ней динамики работы автоматики. Исходными уравнениями для описания СТР являются дифференциальные уравнения нестационарного теплообмена.

Разработана и проверена методика составления математической модели СТР. Математическая модель конкретной структуры СТР позволила определить оптимальные параметры блоков управления с точки зрения увеличения ресурса, исследовать устойчивость системы и установить, что система устойчива при действии синусоидальных возмущений по внутренним тепловым нагрузкам. В модели формализован и реализован на ЦВМ алгоритм управления положением регулирующих органов регуляторов в зависимости от рассогласования температур. Этот алгоритм при наличии согласующих устройств может быть использован для управления регулирующими органами от бортовой ЦВМ.

*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СТРУКТУРАМИ

Л. А. ВАРЕНЦОВА, В. П. ЛАПШИН, И. В. ТИШИН,
Н. М. ХОЛМОГОРОВ, В. И. ШАЙКОВ

Анализируются результаты экспериментального исследования различных структурных схем систем терморегулирования (СТР) летательных аппаратов. Экспериментально исследовались три типа систем: 1) СТР, состоящая из наружных и внутренних контуров (НХК и ВХК), предназначенная для охлаждения и осушки воздуха. Система включает подсистему автоматического регулирования температуры жидкости на входе в ХСА перепуском охлаждающей жидкости НХК мимо РТО, а также подсистему автоматического регулирования температуры воздуха на выходе из ГЖА изменением температуры жидкого холодоносителя на его входе; 2) СТР, аналогичная предыдущей, но температура воздуха на выходе из ГЖА поддерживается автоматически изменением расхода жидкого холодоносителя через ГЖА; 3) СТР, аналогичная первому типу, но поддерживается температура жидкости на входе в ГЖА, а не воздуха на выходе из ГЖА. В процессе эксперимента одновременно исследовалось влияние мест установки управляющих датчиков температуры по жидкости.

Показано, что все рассмотренные схемы обеспечивают поддержание температуры воздуха и жидкости с точностью $\pm 1,5-2^\circ \text{C}$, однако использование той или иной схемы в каждом конкретном случае должно определяться назначением аппарата и его тепловлажностными параметрами.

*

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

Ю. В. КАПИНОС, В. А. ТОМСКИЙ

В работе рассмотрены вопросы разработки математического обеспечения ЭЦВМ, предназначенного для моделирования систем обеспечения тепловых режимов (СОТР).

Первая часть работы посвящена анализу задач, встающих в процессе создания, испытаний и эксплуатации СОТР и решаемых с использованием методов математического моделирования:

выбор состава агрегатов, структуры и рабочих параметров систем; анализ функционирования систем в штатных и аварийных ситуациях; исследование схем регулирования температуры; оперативный контроль и управление системой при натурных испытаниях. Разработка математических моделей и программ для ЭЦВМ, пригодных для решения всех перечисленных задач, представляет значительные трудности и выдвигает ряд требований, которые формулируются как требования универсальности, гибкости, быстродействия и точности. Анализ существующих СОТР позволил выделить следующие элементы: объект обеспечения теплового режима; многослойную теплоизоляцию; оребренную трубку; теплообменник перекрестного тока; трубопровод.

Во второй части работы для каждого элемента решена задача разработки совокупности точной (с учетом распределенности параметров) и приближенных математических моделей, причем каждая из рассмотренных моделей оценена с точки зрения изложенных выше требований.

✱

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАДАЮЩЕГО ПОТОКА НА СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛОБМЕННИКА

В. А. ТОМСКИЙ

Рассмотрена задача исследования влияния распределенности падающего лучистого потока вдоль хода теплоносителя на статические и динамические характеристики радиационного теплообменника.

Проведенные предельные оценки показали, что по крайней мере для радиаторов с достаточно большим временем пребывания теплоносителя распределенность падающего потока существенно влияет на теплосъем. Для расчета погрешности определения теплосъема, возникающей за счет пренебрежения распределенностью падающего потока в статике и в динамике, разработаны программы. Показано, что при проектировании радиационных теплообменников следует проводить расчеты с учетом возможных отклонений потока от равномерного распределения.

Особое внимание уделено анализу влияния распределенности потока на динамические характеристики радиатора. Рассмотрены три случая распределения потока. Показано, что в результате перераспределения потока вдоль хода теплоносителя с течением времени возможно возникновение значительных колебаний температуры хладагента на выходе радиатора, что необходимо иметь

в виду при построении схемы регулирования температуры, с тем, чтобы развязать соответствующие резонансные частоты и предотвратить неоправданную выработку ресурса исполнительных механизмов.

✱

ПРИБЛИЖЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

В. А. ТОМСКИЙ

Работа посвящена построению приближенной модели, позволяющей существенно уменьшить время, затрачиваемое на расчет теплового потока через экранно-вакуумную теплоизоляцию (ЭВТИ), и обеспечивающей любую наперед заданную точность решения задачи динамики переноса тепла в ЭВТИ.

При исследовании процессов передачи тепла через ЭВТИ обычно используется так называемая послойная модель, которая представляет собой систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих тепловой баланс каждого слоя изоляции. В качестве приближенной модели ЭВТИ рассмотрено нелинейное уравнение теплопроводности плоской стенки. Определены параметры приближенной модели и показано, что погрешность не превышает порядка аппроксимации разностной схемы для уравнения теплопроводности.

Разработана программа, реализующая рассмотренную приближенную модель на ЭЦВМ. Показано, что по сравнению с послойной моделью затраты машинного времени уменьшаются в 4—5 раз.

✱

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЛАМИНАРНОЙ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ

Р. М. КОПЯТКЕВИЧ, А. М. ФРОЛОВ

1. На основании решения уравнений Навье—Стокса в плоской прямоугольной области исследуется влияние естественной конвекции при боковом подводе тепла на вынужденное вентиляционное движение газа в замкнутой области; при этом вентилятор заменяется сосредоточенной массовой силой, интенсивность которой определяет величину критерия Архимеда. В результате

численного исследования получены поля скоростей и коэффициенты теплоотдачи на станках в квазистационарном режиме при изменении соотношений чисел Архимеда и Грасгофа.

2. При противоположном направлении вынужденного и свободного движения в каждой полуплоскости образуется по два встречных вихря. При числах $Gr = 1,6 \cdot 10^4$ и $Ar = 8 \cdot 10^3$ вынужденное движение охватывает лишь небольшую зону вблизи сосредоточенной силы и течение в целом определяется свободным движением. При увеличении числа Архимеда до $4 \cdot 10^4$ вынужденное движение существенно деформирует свободноконвективный вихрь, вытягивая его вдоль боковых стенок. Наконец, при числе $Ar = 8 \cdot 10^4$ действие сосредоточенной силы преобладает почти во всей исследуемой области. Свободноконвективный вихрь смещается к нижнему углу. Средние числа Нуссельта на боковой поверхности составили: 4,7 при $Ar = 0$; 3,9 при $Ar = 8 \cdot 10^3$; 3,0 при $Ar = 4 \cdot 10^4$; 4,6 при $Ar = 8 \cdot 10^4$.

3. Для определения коэффициентов теплоотдачи при смешанной конвекции от оборудования решены уравнения пограничного слоя при обтекании цилиндра и шара при наличии угла γ между направлениями свободного и вынужденного движения. При проточке наблюдается смещение точки отрыва в сторону задней кромки при уменьшении интенсивности вынужденного движения.

*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

С. Н. ЛОГИНОВ, В. В. МАЛОЗЕМОВ, В. В. ОЛЬШВАНГ

Рассматривается идентификация параметров двухконтурной системы обеспечения теплового режима, математическая модель которой может быть представлена в виде

$$c_i \dot{T} = \sum_{i \neq j} a_{ij} (T_j - T_i) + q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Два циркуляционных жидкостных контура представляются четырехэлементной узловой моделью. Водяные эквиваленты в контурах считаются заданными. Определению подлежат эффективные теплоемкости узлов модели, коэффициенты теплообмена воздуха в гермокабине с узлами контура, отношения коэффициентов теплопередачи теплообменников к водяным эквивалентам.

Алгоритм идентификации, основанный на уравнениях квазилинейного фильтра Калмана, показал устойчивость счета при восстановлении указанных параметров.

Интегрирование системы уравнений (1) с идентифицированными параметрами дало приемлемое совпадение с результатом испытаний. Проанализированы возможные причины расхождения измеренных и рассчитанных температур. Даны рекомендации по проведению экспериментов.

*

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА МЕТОДАМИ ОТСЕИВАЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА

И. И. БОГАЧЕВ, А. П. ЛЕБЕДЕВ

Для прогнозирования теплового режима (КЛА) и решения задач управления системами обеспечения теплового режима (СОТР) требуется построение достаточно точной математической модели процессов теплообмена. Многоузловая математическая модель СОТР содержит большое число параметров (коэффициентов лучистого, конвективного теплообмена, теплоемкостей и т. д.), значительная часть которых определена с некоторой погрешностью, поэтому необходимо проведение процедуры идентификации, т. е. оценки параметров по результатам наблюдений за функционированием объекта. Показано, что при числе идентифицируемых параметров порядка 100 наиболее эффективен метод случайного баланса.

Существенным методом при решении задачи ранжирования коэффициентов методом случайного баланса является правильный выбор критерия значимости. Очевидным требованием к критерию является нечетность зависимости последнего от коэффициентов модели. Поэтому использование обычных интегральных оценок, характеризующих степень отклонения возмущенной траектории системы от опорной, в данном случае неправомерно.

СОТР является многорежимной системой, т. е. на отдельных участках полета могут существенно меняться тепловые нагрузки и некоторые ее параметры, поэтому коэффициенты модели могут по-разному ранжироваться при разных режимах функционирования. В этом случае для эксперимента целесообразно брать участок полета, включающий наиболее типичные случаи функционирования системы.

Был проведен анализ чувствительности по методу случайного баланса для модели СОТР с 30 неточно заданными коэффициентами. В результате было выделено 8 существенных параметров, уточнение которых снизило максимальную ошибку предсказания по температуре воздуха в гермообъеме на порядок.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ К АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

С. Н. ЛОГИНОВ

Рассматривается идентификация параметров математической модели теплообменника, представленной в виде

$$c_i \dot{T}_i = W_i (T_i^{\text{BX}} - T_i^{\text{ВЫХ}}) + kF (T_j^{\text{BX}} - T_i^{\text{BX}}). \quad (1)$$

Показана возможность определения любых четырех параметров из c_1, c_2, W_1, W_2, k, F . Если определяются все пять параметров, алгоритм становится неустойчивым. Идентификация проводилась как по результатам эксперимента, так и по расчетным данным, искаженным «измерительным шумом» с нулевым средним. В качестве генератора случайных чисел использовалась программа *SSP RANDU*.

Исследовалась точность восстановления коэффициентов W_1, W_2 при $kF = 1$. Расчетные данные, полученные интегрированием системы (1), использовались в качестве результатов эксперимента. Ковариации ошибок измерения в алгоритме принимались меньше, равными и больше истинных. Хорошие результаты получены, когда принимаемая в расчете ковариация больше или равна истинной, а в отдельных случаях, когда она была меньше истинной, возникала неустойчивость счета, что приводило к расходимости процесса идентификации.

*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ РЕГЕНЕРАЦИИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

В. П. ЛАПШИН, В. С. НИКИФОРОВ, В. Ф. УСТЕНКО

Анализируются различные направления в развитии отечественных и зарубежных систем регенерации газовой среды (СРГС) с рассмотрением структурных схем СРГС с точки зрения результатов эксплуатации и перспектив дальнейшего развития. Дается обоснование блочно-модульному исполнению СРГС на отечественных обитаемых аппаратах и созданию базовой системы на твердых веществах для длительно функционирующих космических аппаратов. Оцениваются структурные схемы и перспективы развития СРГС с использованием модулей твердых источников кислорода и

регенерируемых модулей очистки воздуха от углекислого газа. Проводится сравнение массоэнергетических характеристик СРГС с использованием модулей твердых источников кислорода и регенерируемых модулей очистки воздуха с СРГС с использованием надперекисных веществ.

Рассматриваются требования к СРГС по удалению вредных микропримесей, пути и технические средства их удовлетворения по мере увеличения ресурса обитаемых космических аппаратов. Оценивается состояние ремонтпригодности СРГС, в частности методы замены как блоков в целом, так и отдельных их элементов. Рассматриваются вопросы состояния унификации СРГС и перспективы ее дальнейшего развития. Анализируется методология экспериментальной отработки СРГС с учетом необходимости использования средств имитации газообмена человека.

✱

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ СТУПЕНЧАТОЙ ВАКУУМНОЙ ОТКАЧКИ ВОЗДУХА

В. В. БАКАСТОВ

Исследования многонасосных сорбционных вакуумных агрегатов показали преимущества многоступенчатой откачки воздуха и его компонентов перед одноступенчатой при одинаковом количестве используемого сорбента. Однако результаты этих исследований не дают необходимых данных для организации эффективной ступенчатой откачки с помощью одного насоса.

На основании анализа технологических особенностей криогенного охлаждения сорбционного блока крупногабаритного насоса нами развита методика расчета процесса камерной откачки при неравномерном (ступенчатом) охлаждении массы сорбента с принципиальным отличием от известных методик в том, что скорость уменьшения давления от $1,333 \cdot 10^2$ Па определяется изменениями скорости откачки газа и газовыделения слоев сорбента по ступеням охлаждения в зависимости от распределения концентрации газа по длине сорбционного блока.

Анализ результатов расчетов работы показал, что на длительность откачки существенным образом влияет очередность работы различных слоев сорбента. Отмечено, что эффективным способом уменьшения длительности откачки при двухступенчатом цикле работы сорбента является правильная разбивка сорбента по ступеням охлаждения. Установлен оптимальный диапазон разбивки сорбента по ступеням, при котором время установления равновесного давления минимально.

По результатам расчетов выдвинуто предположение о возможности организации высокоэффективных процессов ступенчатой откачки с помощью насоса с гофрированной поверхностью теплоотдачи.

*

СОРБЦИОННЫЙ НАСОС ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ ЕМКОСТЕЙ

В. В. АНАНЬЕВ, В. В. БАКАСТОВ, А. В. ШЕВЦОВ

В работе излагаются отдельные результаты опытно-конструкторской разработки быстродействующего сорбционного насоса, в котором отсутствуют традиционные съемные сосуд Дьюара с криогенной жидкостью и электронагреватель, поочередно надвигаемые на сорбционный блок. Взамен их применен неподвижно закрепленный герметичный кожух в виде тонкостенного цилиндра, снабженный патрубками для прохода хладагента и встроенным электронагревателем.

Целью экспериментального исследования являлось определение оптимальных режимов проточного охлаждения и эффективности сорбционных блоков с различными поверхностями теплоотдачи и массой сорбента.

Установлены характеристики насоса при откачке и нагнетании воздуха, криптона, ксенона и шестифтористой среды различной чистоты для двух вариантов проточной части холодильно-нагревательной камеры: пустой кольцевой щели толщиной 3 мм и эквивалентной щели, заполненной хлопчатобумажными нитями с вплетенными в них полосками алюминиевой фольги. В качестве хладагентов использовались азот и воздух с минимальной температурой 78 и 84 К соответственно.

Испытания насоса с сорбционными блоками большой сорбционной емкости (масса сорбента 1—5 кг) доказали целесообразность создания системы предварительного охлаждения и нагрева сорбента и организации регенеративного теплообмена, обеспечивающего минимальные холодопотери при определенных соотношениях объемных расходов потоков теплоносителей, попеременно омывающих поверхности насоса и теплообменника, а также использования холода нагнетаемых насосом газов в повторных циклах охлаждения насоса. Для предварительного охлаждения или нагрева сорбента наиболее эффективным оказалось использование атмосферного воздуха.

*

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА
РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДЫ
В ЗАМКНУТЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
С ПОМОЩЬЮ ИОНОСЕЛЕКТИВНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ

С. Н. ЧИЖОВ, И. Н. МЕДВЕДЕВ, В. С. ШТЕРМАН,
Н. А. ПОЛОТЕБНОВА

Анализ принципов работы ионоселективных электродов и их характеристик показывает, что они в качестве датчиков-анализаторов состава растворов имеют ряд достоинств: обеспечивают возможность осуществления непрерывного контроля анализируемых средств; отличаются тем, что с их помощью оказывается возможным избирательно контролировать один или несколько главных («критических») компонентов системы, определяющих успешную работу узлов системы регенерации. Датчики состава растворов с использованием ионоселективных электродов характеризуются простотой конструкции, небольшими размерами и малым весом. При их работе непосредственно формируется электрический сигнал, удобный для регистрации и передачи по системе телеметрии.

Для изучения возможности непрерывного контроля микроконцентраций ионов серебра, вводимых в регенерированную воду в целях ее обеззараживания и консервации, изучались электродные характеристики ряда ионоселективных электродов. На основании этих исследований был сделан вывод о возможности контроля концентрации ионов серебра, вводимых в регенерационную воду для ее обеззараживания и консервации.

Рассмотрена также модификация мембранных ионоселективных электродов — «газовых» мембранных электродов. Принцип работы этих электродов основан на диффузии анализируемого соединения через микропористую перегородку в пленку раствора, примыкающую к поверхности ионоселективного электрода.

*

НЕОБХОДИМОСТЬ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТНОГО АЗОТА В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

С. В. ЧИЖОВ, В. К. МЕНЬКИН, В. С. ШТЕРМАН,
Н. П. БУРЯКОВ, З. Е. ДЕЙКОВА, В. В. КРАШОЩЕКОВ

Аммиак обычно используется бактериями для синтеза белка. При содержании в пищевых продуктах повышенного количества нитратов последние восстанавливаются до нитратов быстрее, чем до аммиака. На этой промежуточной стадии восстановления они оказывают токсическое действие. Особенно часто увеличение нитратов в организме наблюдается при недостатке энергии в пищевом рационе, т. е. при низком содержании углеводов.

Всасываясь в кровь, нитраты окисляют двухвалентное железо гемоглобина в трехвалентное. В настоящее время можно считать установленным, что образование метгемоглобина на уровне 75% в большинстве случаев приводит к смертельному исходу. Обычно содержание в крови метгемоглобина от общего гемоглобина составляет не более 2%.

Однако токсическое действие нитратов связано не только с увеличением содержания метгемоглобина. Кроме образования метгемоглобина, нитраты токсично действуют на мозговое кровообращение, расширяют сосуды, что усугубляет эпоксию, особенно сердца и мозга, чувствительных к кислородному голоданию.

Повышенное содержание в пищевом рационе нитратов может привести к изменениям в печени, почках и желудке.

Разработана методика определения нитратного азота в пищевых продуктах и питьевой воде с помощью ионоселективного электрода. В качестве чувствительного элемента нитратного электрода использовали пленочную индикаторную мембрану, полученную на основе жидкого ионообменника.

*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМ-ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ ПАРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СЛОЯ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ

М. С. ГЕЦИН, Г. А. МУСАКИН, Ф. К. КАДЫРОВ,
Т. Г. ПЛАЧЕНОВ, А. Г. КОЖЕВНИКОВ, Б. И. КУШНЕР,
Г. А. МАЕВ, В. А. АПАЛЬКОВ

В работе обсуждаются результаты экспериментального и теоретического исследования влияния параметров пористой структуры углеродных адсорбентов и условий процесса на степень вакуум-термической десорбции паров органических веществ, определяющей эффективность цикловой работы регенерируемого фильтра очистки воздуха.

Изучалась десорбция нормальных и циклических углеводородов, спиртов, альдегидов, кетонов, органических кислот, различающихся в широком диапазоне физико-химическими свойствами.

Экспериментально определялась кинетика десорбции при постоянной и изменяющейся температуре слоя. Опыты проводились как с элементом объема слоя, так и с макетами адсорберов при откачке в вакуумную криогенную камеру высокой производительности.

Исследования показали, что процесс десорбции практически прекращается при переходе режима течения десорбата в кнудсовскую область. При этом в слое устанавливается квазиравновесное состояние, определяемое температурой, параметрами пористой структуры угля и физико-химическими свойствами десорбата.

Температура, необходимая для достижения заданной степени десорбции пара, линейно возрастает с величиной характеристической энергии адсорбции и мало зависит от предельного объема адсорбционного пространства адсорбента.

*

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕЗЕРВНОГО ВРЕМЕНИ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ю. Я. КАРСАЕВСКИЙ

В работе рассматривается структура общей формулы для резервного времени, полученной, исходя из закритического режима истечения при постоянной площади и конфигурации отверстия истечения.

Излагаются основные соображения, касающиеся динамического диапазона работы прибора по давлениям, скоростям изменения давления и индуцируемым резервным временам, а также комбинированного прибора, в показаниях которого учитываются запасы воздуха как в кабине, так и в баллонах высокого давления.

Приводятся возможные блок-схемы индикаторов резервного времени с использованием стандартных и освоенных измерительных элементов.

*

ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ГЕРМОКАБИНЕ

С. И. ЕЛЮТИНА, И. Э. ИВАНОВ, Э. А. КУРМАЗЕНКО

В работе рассмотрены методы математического моделирования систем регенерации газовой среды, основанные на применении аналоговой и цифровой вычислительной техники, и приведены результаты исследования динамических свойств системы регенерации газовой среды, включающей электролизер.

На этапе эскизного проектирования можно отказаться от полного описания концентрационных полей в гермокабине и ограничиться интегральными характеристиками процессов. При этом математическая модель гермокабин может быть записана в виде модели с сосредоточенными параметрами, а электролизер может быть описан моделями различной степени приближения. В работе рассмотрены возможности описания статистических и динамических свойств электролизера на основе ячеечной модели идеального смешения.

Подсистема очистки искусственной атмосферы от углекислого газа в рассматриваемой системе основана на адсорбционном методе очистки. При моделировании адсорбера использовались данные, полученные экспериментальным путем.

Посредством применения разработанных моделей, после их последующего упрощения по результатам моделирования на ЭЦВМ и уточнения коэффициентов, проведено исследование динамических свойств системы регенерации газовой среды гермокабины методом структурного моделирования на АВМ. При проведении структурного моделирования возмущающими воздействиями являлись колебания питающего напряжения и выходы с массоэнергетической модели организма человека.

Проведенные исследования показали возможность применения разработанных моделей для описания динамических свойств системы и позволили получить ряд необходимых для проектирования рекомендаций.

*

ОБ УПРАВЛЕНИИ ГАЗОВЫМ СОСТАВОМ В ГЕРМОКАБИНЕ

В. Б. ЧАПЛЯНСКИЙ

Увеличение длительности космических полетов и расширение круга лиц, участвующих в них, заставляют особое внимание уделять вопросам обеспечения безопасности, в том числе разработке методов профилактики воздействий на экипаж неблагоприятных факторов орбитального полета.

В комплексе мероприятий по устранению вредного влияния невесомости и гипокинезии на организм человека специалисты важное значение придадут стимулированию деятельности сердечно-сосудистой системы и дыхательной функции с помощью изменения состава атмосферы.

К существующим системам регулирования парциальных давлений кислорода (pO_2) и углекислого газа (pCO_2) не предъявляется жестких точностных требований. В случае же управления составом атмосферы для активизации дыхания и сердечной деятельности регулирование должно происходить на границах допустимого диапазона (верхней — для pCO_2 и нижней — для pO_2). Поэтому точность регулирования парциальных давлений должна быть в данном случае существенно выше. Поскольку изменения газового состава в ГК большого объема происходят медленно, то для долговременных орбитальных станций целесообразно создание на ее борту малообъемных гермокабин (менее 1—2 м³ на человека) с регулируемым газовым составом.

Возможен вариант схемы системы регулирования pO_2 и pCO_2 , в котором нелинейности характеристик ее элементов корректируются изменением параметров алгоритма управления блоками системы регенерации, выполняемой с помощью параметрической обратной связи.

*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОЧИСТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Н. В. ХАПИЛОВ

Гемосорбцию, плазмсорбцию и лимфосорбцию в настоящее время в большинстве случаев осуществляют за счет поглощения сорбентами вредных компонентов в процессе контакта последних с очищаемыми жидкостями. Что касается очистки и регенерации воды, то в настоящее время известны также десятки способов, в основе которых использованы различия в физико-химических свойствах воды и примесей и благодаря которым проводят отделение воды от примесей.

Сорбенты, которые применяются для гемосорбции, плазмсорбции, лимфосорбции, обладают большой областью действия по поглощению токсодентов из крови, плазмы, лимфы. Однако применение известных сорбентов не позволяет удовлетворительно решить проблему избирательного удаления таких продуктов, как мочевины, низкомолекулярные спирты и другие токсоденты.

Для условий длительных космических полетов трудности, связанные с созданием технических средств очистки биологических жидкостей, усиливаются дополнительными требованиями по надежности, весовым характеристикам, эргономическим показателям.

В то же время спектр биологических сорбентов может быть очень широк и разнообразен по сорбционным свойствам (емкости избирательности, прочности, регенерируемости и др.).

*

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИССИПАТИВНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА В АГРЕГАТАХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА

Н. С. ДЕМИДОВА, В. Ф. РОЖНОВ

Для анализа условий организации технологического процесса в агрегатах системы обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) целесообразно использовать некоторое обобщенное свойство многокомпонентной системы. В качестве такого обобщенного свойства предлагается диссипативная функция. На примере многокомпо-

нентной системы электрохимического устройства с межэлектродными превращениями компонентов проведено исследование диссипативной функции. Диссипативная функция включает член, отражающий изменяющиеся граничные условия, и член, отражающий влияние термодинамических сил. Результаты исследований диссипативной функции, проведенных при различных плотностях тока, температурах, входных концентрациях углекислого газа, позволяют установить влияние основных параметров процесса на устойчивость. Наиболее резкие изменения диссипативной функции наблюдаются на внешних границах системы и в зонах химических превращений.

Рассматриваемый критерий эволюции системы дал результаты, совпадающие с оценкой организации процесса, полученной с использованием комплексных интегральных критериев. Этот критерий (диссипативная функция) может быть использован для выбора плотностей токов, расходов газовой смеси, температур.

✱

АНАЛИЗ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Н. С. ДЕМИДОВА, Д. А. НОСОВ, В. Ф. РОЖНОВ

В работе рассмотрен один из элементов системы обеспечения жизнедеятельности — каталитический реактор утилизации углекислого газа Сабатье. За основу конструктивного оформления проточного каталитического реактора с неподвижным слоем катализатора принята трубка с непроницаемой боковой поверхностью.

Рассмотренные в работе математические модели отражают механизмы и особенности основных составляющих процессов тепло-массопереноса в пористых средах, осложненных химическими реакциями. Анализ результатов моделирования проводится на динамической квазигомогенной модели идеального смешения, описываемой системой дифференциальных уравнений первого порядка, и на динамической квазигомогенной модели продольного смешения, описываемой системой дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка.

В результате исследований произведена оценка влияния расхода газовой смеси, температуры в исходной смеси на степень превращения исходных веществ, что дает возможность сформулировать алгоритм управления процессом. Разработанные алгоритмы позволяют произвести расчет любого режима работы агрегатов подобного типа и обоснованно выбрать конструктивные параметры агрегата.

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕТЧИКА ПРИ ПОЛЬЗОВАНИИ КИСЛОРОДНОЙ АППАРАТУРОЙ В ПОЛЕТЕ

А. И. ХРОМУШКИН

В работе анализируются оценки энергозатрат летного состава, связанных с управлением самолетом и с эксплуатацией высотного оборудования на различных этапах полета. Подробно разобран вклад дыхательной системы в общие энергозатраты и приведена методика оценки этого вклада.

*

АНАЛИЗ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕКОТОРЫХ ВАРИАНТОВ СХЕМ ИНДИКАТОРА РЕЗЕРВНОГО ВРЕМЕНИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

В. И. МИНАЕВ, О. А. САФОНОВ

Важнейшим фактором при возникновении аварийных ситуаций, связанных с падением давления в гермоотсеке, является наличие сигнала о моменте начала падения давления в отсеке и информации о резерве времени, определяющей программу действий в конкретной аварийной ситуации.

В работе рассмотрен анализ погрешностей, показывающий, что в ряде случаев исходное выражение для определения резервного времени с допустимой точностью может быть приведено к достаточно простому виду.

Дается функциональная схема индикатора резервного времени, построенная по упрощенному выражению в определении резервного времени с использованием основных допущений: постоянство температуры газа в гермоотсеке и в баллонах с запасами газа для компенсации утечек. Показано, что максимальная погрешность индикатора резервного времени в результате принятых допущений в диапазоне изменения давления в гермоотсеке при падении давления в нем от 840 до 500 мм рт. ст. и выработке всех запасов газа в баллонах не превысит 20%.

*

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ	7
<i>А. Ю. Ишлинский, Г. Т. Береговой, В. Н. Сагинов, Н. Д. Самсонов</i>	
О ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКАДЕМИКА СЕРГЕЯ ПАВЛОВИЧА КОРОЛЕВА	15
<i>А. Ю. Ишлинский</i>	
Ю. А. ГАГАРИН — ПЕРВЫЙ ГРАЖДАНИН ВСЕЛЕННОЙ	28
<i>А. Г. Николаев</i>	
НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ РАБОТЫ ЭКИПАЖЕЙ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ КОСМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «САЛЮТ-6» — «СОЮЗ» — «ПРОГРЕСС»	35
<i>А. А. Леонов</i>	
СОВЕТСКАЯ АВИАЦИЯ НА СТРАЖЕ ЗАВОЕВАНИЙ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ	41
<i>Н. М. Скоморозов</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ	53
<i>Ю. И. Топчеев, В. В. Семенов, А. И. Киселев, В. Г. Потемкин</i>	
НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ	76
<i>В. П. Мишин, Д. Н. Шевцов</i>	
НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СБОРКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В КОСМОСЕ	94
<i>И. Т. Беляков, Ю. Д. Борисов</i>	
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ	100
<i>Н. М. Рудный, С. А. Гозулов, И. Д. Пестов, А. В. Еремин</i>	
ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	113
<i>В. Н. Пращецкий</i>	

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ И ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ	1-3
<i>В. С. Авдучевский</i>	
КОСМОС — ПРИРОДА — ЧЕЛОВЕК	130
<i>Ю. П. Киенко, А. Д. Коваль</i>	
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ ЛОКОМОЦИОННОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА КАК СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ	145
<i>А. П. Бессонов, Д. Ц. Бальжанов, Г. Г. Левицкий, А. Я. Погребняк, Н. В. Умнов</i>	
МАТЕРИАЛЫ, ДОЛЖЕННЫЕ НА СЕКЦИЯХ VIII ГАГАРИН- СКИХ ЧТЕНИЙ (краткое содержание докладов)	158
Механика полета	158
Системы управления летательными аппаратами	174
Применение космических летательных аппаратов	188
Проблемы проектирования и отработки летательных аппаратов	190
Технология в космосе	202
Проблемы авиационной и космической медицины и биологии	216
Авиационная и космическая техника	235
Системы обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей летательных аппаратов	241

УДК 629.7(092)

О жизни и деятельности академика Сергея Павловича Королева. Ишлинский А. Ю.— В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе даны краткие сведения из биографии С. П. Королева. Рассказывается об отдельных событиях истории создания серии ракетных комплексов, обеспечивших выдающиеся достижения Страны Советов в покорении космического пространства.

Библ. 2 назв.

УДК 629.7(092)

Ю. А. Гагарин — первый гражданин Вселенной. Николаев А. Г. В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе рассказывается об истоках мужества первого космонавта планеты Ю. А. Гагарина — гражданина и коммуниста, и о том, какое влияние его подвиг оказал на все последующие космические полеты.

Библ. 6 назв.

УДК 629

Некоторые итоги работы экипажей на исследовательском космическом комплексе «Салют-6» — «Союз» — «Прогресс». Леонов А. А.— В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

Рассматриваются основные результаты очередного этапа космических исследований с помощью пилотируемых космических аппаратов — 96-суточной и 140-суточной экспедиций на станцию «Салют-6», а также трех экспедиций посещения с международными экипажами, осуществленных в ходе работы основных экспедиций. Дается краткая характеристика станции «Салют-6», обсуждаются общие результаты основных выполненных экспериментов, рассматриваются особенности подготовки экипажей к этим полетам.

УДК 629.13

Советская авиация на страже завоеваний Великого Октября. Скоморохов Н. М.— В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе показаны становление и развитие Военно-Воздушных Сил в нашей стране, роль В. И. Ленина и Коммунистической партии в деле укрепления обороноспособности Советского Союза.

Большое внимание уделено становлению и развитию Воздушного Флота в первые годы Советской власти и в годы первых пятилеток. Дана оценка роли и места Военно-Воздушных Сил в войне советского народа против фашистской Германии. Рассмотрены вопросы развития советской реактивной авиации и качественное ее изменение на этапе развитого социализма.

Показано, что становление и развитие нового направления технического прогресса — космонавтики тесно связаны с развитием авиации. Авиация, являясь колыбелью космонавтики, продолжает и будет оказывать влияние на ее дальнейшее развитие.

Библ. 17 назв.

УДК 629.7.062

Современные методы проектирования систем управления летательными аппаратами. Толчеев Ю. И., Семенов В. В., Киселев А. И., Потемкин В. Г.— В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе дается обзор методов проектирования систем управления летательными аппаратами, основанных на математическом аппарате оптимизации, и описание этих систем в пространстве состояния. Рассматриваются пути повышения точности современных геодезических космических комплексов связи, а также принципы их построения и способы расчета. Проводится состав прикладного математического и программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс проектирования космических систем в диалоговом режиме.

Илл. 3., табл. 2, библ. 21 назв.

УДК 629

Некоторые проблемные вопросы автоматизации проектно-конструкторских работ М и ш и н В. П., Щ е в е р о в Д. Н. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе дается определение, показаны структура и связи, сформулирована задача управления систем автоматизированного проектирования (САПР) как организационно-технической системы (ТС). Определены принципы формирования САПР и ее подсистем. Сформулированы правила выбора состава модели и критериев оптимизации ТС. Показаны роль параметрического анализа и пути декомпозиции задач проектирования. Показаны возможные подходы к решению задач проектирования летательных аппаратов (ЛА). Изложен метод оптимизации ЛА как объекта ТС путем сведения задачи к однокритериальной, квазидинамической, детерминированной с реализацией принципов членения, адаптации моделей и итерационного расчлененного и обобщенного исследования декомпозиционной целевой функции. На основе анализа сетевых графиков проектных работ показана древоподобная структура алгоритма САПР, предложены типовые ветви и алгоритмы. Рассмотрен состав прикладных программ пользователей (ППП), вводятся понятия: многорежимный алгоритм и типовые — одного уровня и многоуровневый. Рассмотрены общетеоретические и проблемные вопросы проектирования в связи с внедрением САПР и использованием диалога человек — ЭВМ.

Илл. 6, библи. 3 назв.

УДК 629.78.018

Некоторые проблемы сборки и обслуживания объектов в космосе. Б е л я к о в И. Т., Б о р и с о в Ю. Д. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе обоснована необходимость проведения технического обслуживания, ремонта, сборки и монтажа космических объектов. Делается вывод о необходимости увязки конструкции объекта с технологией ее обслуживания.

Рассмотрен общий подход к проектированию оборудования, оснастки и инструмента для обеспечения технологической деятельности экипажа. Проанализированы основные принципы проектирования специального ручного и механизированного инструмента.

УДК 629.7.047

Медико-биологические проблемы обеспечения безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов. Р у д н ы й Н. М., Г о з у л о в С. А., П е с т о в И. Д., Е р е м и н А. В. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

Рассматриваются медико-биологические подходы к решению общей для космонавтики проблемы обеспечения безопасности и эффективности пилотируемых космических полетов. Характеризуются медицинские требования к человеку, космическому летательному аппарату и системе управления полетом и определяются меры повышения надежности этих составных элементов безопасности и эффективности полетов. Безопасность и эффективность пилотируемых космических полетов с медицинских позиций могут быть обеспечены на основе комплексного подхода, который включает: создание на борту космического летательного аппарата условий для нормальной жизнедеятельности, выполнения профессиональных функций, осуществления объективного медицинского контроля и проведения необходимых лечебно-профилактических мероприятий; проведение целенаправленных мер по отбору; медицинской и психологической подготовке и комплектованию экипажей с учетом конкретных условий и особенностей предстоящего полета; реализацию медицинских требований по программе полета и организации его управления.

УДК 629.7.048

Проблема обеспечения жизнедеятельности и безопасности экипажей космических летательных аппаратов. П р а в е ц к и й В. Н. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

Рассмотрена общая структура функциональной системы «человек — среда обитания — космический летательный аппарат». Приведенные частные вопросы характеризуют общий уровень состояния некоторых аспектов проблемы. Показано, что ряд вопросов, взятых из различных областей, укладываются в общую структуру функциональной системы. Рассмотренная функциональная система позволяет очертить круг научного поиска, технических реализаций и организационных мероприятий, направленных на осуществление длительного космического полета.

Илл. 1.

УДК 629

Исследование Луны и планет Солнечной системы космическими аппаратами. А в д у е в с к и й В. С. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

Развитие космической техники дало возможность проводить прямые исследования Луны и планет Солнечной системы с помощью космических аппаратов. Космические аппараты выхоили на орбиты около небесных тел или совершали посадки, обеспечивая проведение измерений в околопланетных пространствах, атмосферах планет и на их поверхностях. Полученные результаты в ряде случаев принципиально изменили имевшиеся представления о планетах и Луне. Наибольшее значение имеют исследования планет — Венеры, Марса и спутника Земли — Луны. В работе приводятся последние сведения о Венере, Луне и Марсе, полученные с помощью космических аппаратов, наиболее интересные для понимания происхождения и эволюции Солнечной системы.

УДК 629

Космос — природа — человек. К и е н к о Ю. П., К о в а л ь А. Д. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

В работе рассказывается о возможностях познания природы нашей планеты и решении ряда задач космического природоведения. Показан конкретный вклад, который внесли в исследование Земли полеты космонавтов, начиная с Ю. А. Гагарина и кончая рекордным по длительности полетом летчиков-космонавтов СССР В. В. Коваленка и А. С. Иванченкова на долговременной станции второго поколения «Салют-6». Описываются некоторые фотографические системы, использованные для дистанционных съемок из космоса с борта космических кораблей «Союз-12», «Союз-22», с орбитальных станций «Салют-4», «Салют-6». Приводятся сведения о визуально-инструментальных исследованиях природной среды с борта «Салюта-4», «Салюта-5», «Салюта-6» и о специальной предполетной подготовке космонавтов. Впервые приводятся некоторые конкретные данные о ряде народнохозяйственных и природоведческих задач, решенных с орбитальных высот.

Табл. 1, библи. 2 назв.

УДК 621.01

Некоторые вопросы механики локомационного шагающего робота как системы с переменной структурой. Б е с с о н о в А. П., Б а л ь ж а н о в Д. Ц., Л е в и ц к и й Г. Г., П о г р е б н я к А. Я., У м н о в Н. В. — В кн.: Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1980.

Описаны три различных метода изучения походок шагающих машин: качественный — с помощью топографических диаграмм, аналитический — с помощью системы неравенств и геометрический — по областям устойчивости.

Проведено изучение статической устойчивости и адаптивных возможностей шагающего экипажа при ходьбе различными походками.

Илл. 7, библи. 8 назв.

Научные чтения по авиации и космонавтике

Утверждено к печати Институтом проблем механики Академии наук СССР

Редактор издательства Л. В. Кудрявцева. Художник С. А. Киреев
Художественный редактор Т. П. Поленова. Технический редактор И. Н. Жмуркина
Корректоры Р. С. Алямова, Г. Н. Лац

ИБ № 17007

Сдано в набор 24.12.79. Подписано к печати 05.03.80. Т-02553. Формат 60 × 90^{1/16}.
Бумага типографская № 2. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая
Усл. печ. л. 17. Уч.-изд. л. 17. Тираж 3100 экз. Тип. зак. 2625. Цена 1 р. 70 к.
Издательство «Наука» 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

1 р. 70 к.