

АВИАЦИЯ ♦ РАКЕТНАЯ ТЕХНИКА ♦ КОСМОНАВТИКА

Журнал выходит ежемесячно

Выпускается с августа 1998 г.

Г.В. НОВОЖИЛОВ –

Главный редактор (авиация)

А.С. КОРОТЕЕВ –

Главный редактор (ракетная техника
и космонавтика)

Л.А. ГИЛЬБЕРГ –

зам. Главного редактора

Члены

редакционной
коллегии

В.В. АЛАВЕРДОВ
А.П. АЛЕКСАНДРОВ
Б.С. АЛЕШИН
В.Г. ДМИТРИЕВ
Б.И. КАТОРГИН
П.И. КЛИМУК
Ю.Н. КОПТЕВ
А.А. ЛЕОНОВ
А.М. МАТВЕЕНКО
В.С. МИХАЙЛОВ
С.В. МИХЕЕВ
Н.Ф. МОИСЕЕВ
Ф.Н. МЯСНИКОВ
Б.В. ОБНОВОВ
А.Н. ПЕРМИНОВ
М.А. ПОГОСЯН
Г.М. ПОЛИЩУК
О.Н. РУМЯНЦЕВА
Н.Н. СЕВАСТЬЯНОВ
Г.И. СЕВЕРИН
М.П. СИМОНОВ
В.В. ТЕРЕШКОВА
И.Б. ФЕДОРОВ
Е.А. ФЕДОСОВ

Ответственные
секретари
журнала
И.Н. МЫМРИНА
Д.Я. ЧЕРНИС

Редактор-
организатор
О.С. РОДЗЕВИЧ

Представители журнала:

г. Казань: Р.И. АДГАМОВ, тел. (843) 238-46-23
Роскосмос: И.Н. ПАНАРИН, тел. (495) 975-45-86
ВВС РФ: А.В. ДРОБЫШЕВСКИЙ, тел. (495) 261-43-51
г. Уфа: О.Б. СЕВЕРИНОВА, тел. (3472) 73-07-23
Израиль: И.М. МОНАСТЫРСКИЙ, тел. (03659) 44-14
Франция, Париж: Е.Л. ЧЕХОВ,
тел. (10331) 47-49-28-05
Индия, Нью-Дели: С.А. МИКОЯН (Ярикова),
тел. (10911) 687-37-99

СОДЕРЖАНИЕ

Севастьянов Н.Н. Перспективы пилотируемой космонавтики	3
Фролов К.В. Становление аэрокосмической науки	9
Серьезнов А.Н. Развитие научных исследований в области гражданской авиации	17
Марков А.В., Сорокин И.В. Наследие С.П. Королева и современные проблемы целевого использования пилотируемых космических комплексов	24
Соломко Ю.М., Костина Ю.В. Мемориальный музей космонавтики: вчера, сегодня, завтра	34
Пеньков Е.А. Автоматизация формирования сложных конструктивно-силовых схем	40
Меньшиков В.А., Меньшиков В.В. Российско-белорусский космический эксперимент	49
Пушкин Б.Б., Холодилова Е.И. К столетию главного конструктора Григория Ивановича Воронина	55

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

*Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.*

Адрес редакции: 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Телефоны: 269-48-96; 268-49-69; 268-33-39
Факс: 269-48-97; 268-33-39
Адрес электронной почты: polet@mashin.ru
Адрес в интернете: <http://www.mashin.ru>



AVIATION ♦ ROCKET TECHNOLOGY ♦ COSMONAUTICS

The journal is issued monthly

Published since August 1998

G.V. NOVOZHILOV –

Editor-in-Chief (Aviation)

A.S. KOROTEYEV –

Editor-in-Chief (Rocket Technology
and Cosmonautics)

L.A. GILBERG –

Deputy Editor-in-Chief

Editorial

Board Members

V.V. ALAVERDOV
A.P. ALEKSANDROV
B.S. ALESHIN
V.G. DMITRIYEV
B.I. KATORGIN
P.I. KLIMUK
Yu.N. KOPEV
A.A. LEONOV
A.M. MATVEYENKO
V.S. MIKHAILOV
S.V. MIKHEYEV
N.F. MOISEEV
F.N. MYASNIKOV
B.V. OBNOSOV
A.N. PERMINOV
M.A. POGOSYAN
G.M. POLISHCHUK
O.N. RUMYANTSEVA
N.N. SEVASTIYANOV
G.I. SEVERIN
M.P. SIMONOV
V.V. TERESHKOVA
I.B. FEDOROV
E.A. FEDOSOV

**Executive secretaries
of the journal**

I.N. MYMRINA
D.Ya. TCHERNIS

Editor Organizer

O.S. RODZEVICH

Representatives of the journal:

Kazan: R.I. ADGAMOV, phone (843) 238-46-23
Roscosmos: I.N. PANARIN, phone (495) 975-45-86
Russian AF: A.V. DROBYSHEVSKIY,
phone (495) 261-43-51
Ufa: O.B. SEVERINOVA, phone (3472) 73-07-23
Israel: I.M. MONASTYRSKY, phone (03659) 44-14
France, Paris: E.L. TCHEHOV, phone (10331) 47-49-28-05
India, New Delhi: S.A. MIKOYAN (Yarikova),
phone (10911) 687-37-99

CONTENTS

Sevastiyarov N.N. Future Of Manned Space Flights	3
Frolov K.V. Aerospace Science Establishment	9
Seryoznov A.N. Progressive Research In Civil Aviation	17
Markov A.V., Sorokin I.V. Heritage Of S.P. Korolev And Present-day Problems Of Manned Space Complexes Utilization	24
Solomko Yu.M., Kostina Yu.V. The Memorial Museum Of Cosmonautics: Yesterday, Today And Tomorrow	34
Penkov E.A. Automation Of Complicated Structural And Power Circuit Development	40
Menshikov V.A., Menshikov V.V. Russia-Belarus Space Experiment	49
Pushkin B.B., Kholodilova E.I. To 100 th Anniversary Of Grigory Ivanovich Voronin	55

The journal is in the list of editions, authorized by the Supreme Certification Committee of the Russian Federation to publish the works of those applying for a scientific degree.

Viewpoints of authors of papers do not necessarily represent the Editorial Staff's opinion.

Address of the editorial office: 107076, Moscow, Stromynsky Lane, 4
Phones: 269-48-96; 268-49-69; 268-33-39
Fax: 269-48-97; 268-33-39
E-mail address: polet@mashin.ru
Internet address: http://www.mashin.ru

УДК 629.7

Перспективы пилотируемой космонавтики

Н.Н. Севастьянов

В статье, подготовленной по материалам доклада на V Международном аэрокосмическом конгрессе, рассказывается о работах, ведущихся в РКК "Энергия", и излагаются предложения корпорации по дальнейшему развитию пилотируемой космонавтики России.

N.N. Sevastyanov. Future Of Manned Space Flights

With reference to the materials of the 5th International Aerospace Congress, the article gives an account of the work underway at the Energiya Space and Rocket Company of Russia, and outlines company's suggestions as to the further development of manned cosmonautics in Russia.

Эра пилотируемой космонавтики началась 12 апреля 1961 г., когда гражданин нашей страны Юрий Алексеевич Гагарин впервые в мире совершил космический виток по орбите вокруг Земли на корабле "Восток", созданном под руководством основоположника практической космонавтики Сергея Павловича Королева в Особом конструкторском бюро-1 (сегодня Ракетно-космическая корпорация "Энергия", носящая его имя). С тех пор технологии космических полетов человека получили существенное развитие. Реализованы проекты космических многоместных кораблей "Восход", "Союз" (Россия), "Джемини", "Аполлон" (США), которые обеспечили полеты человека по околоземным орбитам с постепенным увеличением их продолжительности и сложности. Получен опыт работ по исследовательским программам облета и высадки человека на Луну. Значительные достижения получены на российских орбитальных станциях типа "Салют" и "Мир", созданных при головной роли РКК "Энергия". Среди этих достижений — доказательство возможности длительной, до 438 суток (россиянин В.В. Поляков), работы человека в условиях действия невесомости и других факторов космического полета, реализация перспективных, практически важных фундаментальных и прикладных космических исследований и экспериментов.

Анализ многолетнего опыта и научно-технического потенциала, накопленного космонавтикой, в том числе по программам создания многоразовых космических транспортных систем ("Спейс Шаттл" и "Энергия"—"Буран"), показывает, что пилотируемая космонавтика к началу XXI в. прошла стадию становления, когда она фактически была полностью на иждивении общества, получая от него значительные ресурсы и отдавая взамен первые знания о космосе как среде обитания и работы человека. Сегодня это направление космонавтики объективно вступает в следующую стадию развития с переходом к промышленному освоению человечеством Солнечной системы.

Концепция решения задачи дальнейшего развития пилотируемой космонавтики, предложенная РКК "Энергия" им. С.П. Королева, исходит из реализации на этой стадии четырех ключевых фаз:

- выполнение программы промышленного освоения околоземного космического пространства;
- создание экономически эффективной транспортной космической системы;
- начало промышленного освоения Луны;
- осуществление пилотируемой экспедиции на Марс.



СЕВАСТЬЯНОВ
Николай Николаевич —
президент, генеральный
конструктор ОАО
"Ракетно-космическая
корпорация "Энергия"
им. С.П. Королева"

Концепция была рассмотрена и одобрена 14 февраля 2006 г. на заседании расширенного научно-технического совета в РКК "Энергия". В его работе участвовали представители Роскосмоса, Российской академии наук (РАН), руководители ведущих предприятий и организаций отрасли, профильных вузов страны. В прениях на заседании выступили: академики РАН Б.Е. Черток, О.М. Белоцерковский, Г.И. Северин, начальник управления пилотируемых программ Роскосмоса А.Б. Краснов, генеральный директор ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс" А.Н. Кирилин, вице-президент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, генеральный директор — генеральный конструктор КБОМ И.В. Бармин, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана член-корреспондент РАН И.Б. Федоров, директор ИКИ член-корреспондент РАН Л.М. Зеленый и др. Выступавшие отметили актуальность разработки концепции программы развития пилотируемой космонавтики России на дальнюю перспективу и необходимость дальнейших совместных действий по ее формированию, исходя из требований сбалансированности и реализуемости, увязки с программами развития автоматических космических средств и средств выведения. На заседании было предложено направить соответствующие материалы в государственные структуры для учета при разработке национальной космической программы на период 2006–2030 гг.

Концепция была изложена также 10 июля 2006 г. на совместном заседании научно-технического совета РКК "Энергия" им. С.П. Королева и двух отделений РАН — Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления и Отделения биологических наук. Она представлена на уточнение и согласование в Роскосмос, Российскую академию наук и головные предприятия отрасли.

1. МКС – порт, лаборатория и полигон

Промышленное освоение околоземного космического пространства предлагается проводить на основе возможностей Международной космической станции (МКС), которая должна получить статус постоянно действующего искусственного спутника Земли. При этом перед МКС стоят следующие задачи:

- станция должна работать как международный космический порт;
- она должна быть комплексной орбитальной международной лабораторией, обеспечивать проведение программ фундаментальных научных исследований и экспериментов;
- с ее использованием как космического полигона должна осуществляться отработка новых космических технологий в интересах промышленности и экономики Земли;

- станция должна стать испытательным полигоном для отработки технических средств и технологий, необходимых для длительных пилотируемых межпланетных полетов;

- она должна использоваться для сборки межорбитальных комплексов, предназначенных для полетов к Луне, и их обслуживания.

Сегодня МКС уже международный космический порт: к станции стыкуются российские корабли "Союз", "Прогресс" и американские "шаттлы", скоро к ней начнут летать европейские грузовые корабли ATV и японские HTV.

В целях проведения фундаментальных научных исследований и экспериментов, а также отработки новых космических технологий разработана долгосрочная российская научная программа для реализации на российском сегменте МКС. В рамках программы — 331 космический эксперимент по 11 направлениям. Ее выполнение предусматривает размещение внутри гермоотсеков станции научной аппаратуры 267 наименований общей массой 7,5 т, а на ее внешней поверхности — аппаратуры 153 наименования общей массой 9,5 т. Поэтому актуальным является развитие российского сегмента МКС, в том числе ввод в его состав новых исследовательских модулей.

Предлагаемое дальнейшее развитие сегмента и его конфигурация должны обеспечить максимальную технико-экономическую эффективность его использования в будущем. Для этого планируется в 2009 г. запустить многоцелевой лабораторный модуль (МЛМ), который должен стать основным функциональным элементом в составе российского сегмента. Модуль будет научной лабораторией, где реализуется технология сменных полезных нагрузок.

К многоцелевому лабораторному модулю предлагается пристыковать шарообразный узловой модуль с шестью стыковочными узлами. Это позволит в дальнейшем ввести в состав сегмента исследовательские модули ИМ-1 и ИМ-2, а также научно-энергетические платформы НЭП-1 и НЭП-2. К узловому модулю смогут также стыковаться космические средства российской транспортной системы, обеспечивающей грузопотоки Земля — МКС и МКС — Земля. На новых модулях будет современное оборудование систем служебного борта, оптимально размещенные универсальные рабочие места для научных и прикладных экспериментов. Доход от услуг, предоставляемых пользователям по проведению экспериментов и исследований на российском сегменте, станет внебюджетной финансовой основой для создания новых российских модулей МКС.

2. Перспективная транспортная космическая система для решения новых задач

Задачи, которые предстоит решать в ближайшие десятилетия, требуют создания экономически эффективной транспортной космической системы, которая



Полномасштабный макет многоразового космического корабля "Клипер" на авиакосмическом салоне "МАКС-2005"

должна заменить работающую сегодня надежную систему кораблей типа "Союз" и "Прогресс". РКК "Энергия" им. С.П. Королева предлагает проект такой перспективной транспортной космической системы — проект "Клипер". В составе системы: многоразовый пилотируемый корабль нового поколения "Клипер", межорбитальный многоразовый буксир "Паром", грузовые одноразовые контейнеры и наземная космическая инфраструктура, представляющая собой модернизацию инфраструктуры, используемой в настоящее время в рамках программы МКС.

При создании транспортной космической системы будет максимально использован имеющийся технологический задел по кораблям "Союз", "Прогресс", "Буря", по спутнику связи "Ямал". Новая система должна органически интегрироваться в действующую сейчас пилотируемую программу, космическую инфраструктуру подготовки и запуска транспортных кораблей "Союз", "Прогресс" и инфраструктуру эксплуатации МКС. Создание и эксплуатация системы предполагает использование существующих производственных мощностей РКК "Энергия" им. С.П. Королева и ее предприятий-смежников.

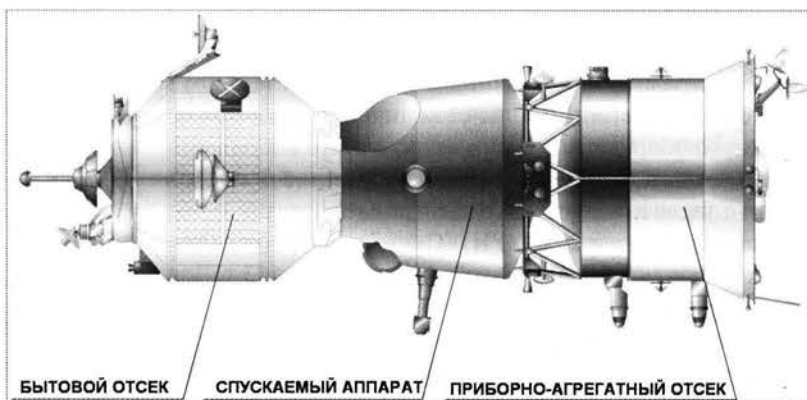
Работы по созданию системы предполагается провести в три этапа.

Первый этап — глубокая модернизация пилотируемого корабля "Союз" с переходом аппаратуры на современную элементную базу и осуществлением централизации ряда бортовых систем на основе цифровых технологий. Централизация позволит оптимизировать число систем, а современная элементная база сделает аппаратуру легче и

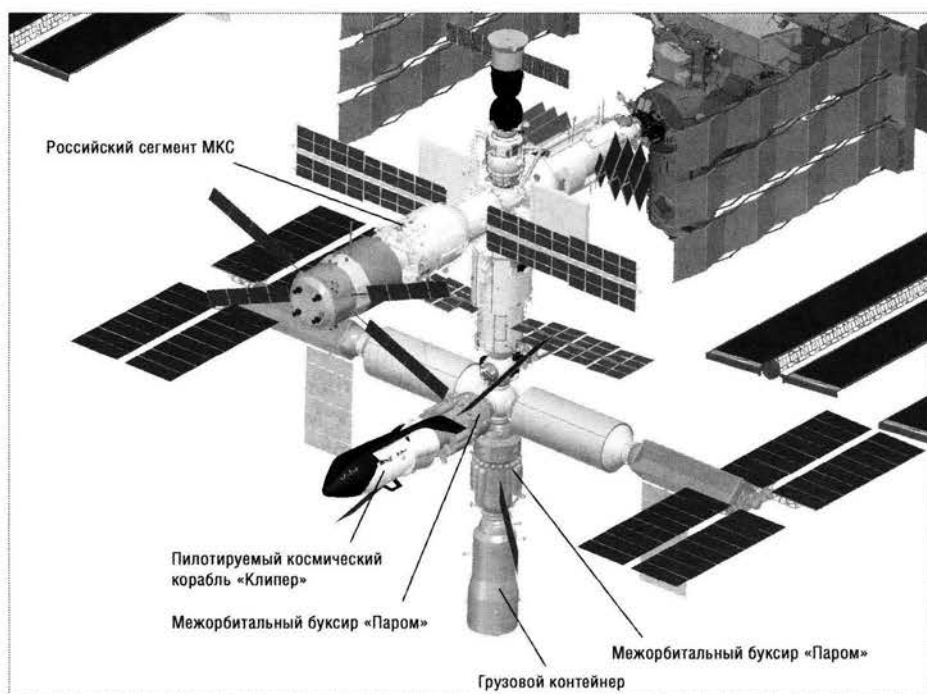
меньше по объему. Это приведет к уменьшению себестоимости корабля и общей массы его конструкции, позволит увеличить массу полезной нагрузки. Корабль получит новое качество и новые возможности. Его модернизация повлечет за собой и модернизацию наземного комплекса управления, что позволит снизить затраты на эксплуатацию и расширит возможности по управлению полетом. На "Союзе" проходят летную квалификацию современные бортовые системы, которые затем будут использоваться и на корабле "Клипер".

Обновленный корабль "Союз" сможет летать не только к МКС, но и к Луне. Это будет универсальный корабль. Основное отличие его варианта как лунного корабля от орбитального околоземного варианта — в увеличении массы теплозащиты спускаемого аппарата на 300 кг для того, чтобы можно было совершить посадку на Землю при входе в ее атмосферу по трассе возвращения от Луны со второй космической скоростью. "Союз" после модернизации сможет находиться в составе орбитальной станции до 360 суток. Ввод его в эксплуатацию предполагается в 2010 г.

На следующем этапе работ по созданию новой транспортной системы реализуется проект многофункционального многоразового межорбитального буксира "Паром", который должен заменить эксплуатируемые сегодня одноразовые грузовые корабли "Прогресс". "Паром" предназначен для транспортировки на станцию различных грузовых контейнеров и пилотируемого корабля "Клипер". Буксир будет создаваться на базе модернизированных систем корабля "Союз". На нем устанавливаются два активных стыковочных узла: один для стыковки к транспортируемому объекту, а другой для стыковки к станции. Буксир имеет двигательную установку, оснащен баками с долгохраняемыми компонентами топлива и солнечными батареями для электропитания бортовых сис-



Модернизированный корабль "Союз" (проект)



Такой может быть комплектация российского сегмента МКС в будущем

тем. Большую часть времени он находится в составе орбитальной станции. После выведения на околоземную орбиту очередного объекта (например, грузового контейнера) буксир отстыковывается от станции, стыкуется с этим объектом и транспортирует его к станции. Внутри буксира находится гермоотсек, через который космонавты могут пройти с борта станции в герметичную часть объекта для разгрузки. По завершении работы на станции с этим объектом "Паром" уводит его от станции и отделяет, затем подхватывает и доставляет к станции новый объект.

Грузовой контейнер — простой и относительно дешевый элемент системы. Он имеет гермоотсек для грузов и оборудования и негерметичный отсек, в котором на станцию доставляются компоненты топлива. Перекачка топлива из контейнера на станцию производится по магистралям, проложенным в буксире "Паром". Контейнер имеет минимальное количество служебного бортового оборудования. Это прежде всего небольшой отсек с двигателями стабилизации и пассивный стыковочный узел. Контейнеры рассчитаны на запуск с помощью ракет-носителей (РН) "Союз" и "Протон". Они могут доставлять полезный груз массой от 4 до 13 т. Для сравнения, максимальная масса грузов, доставляемых "Прогрессом", составляет немногим более 2 т. Таким образом, контейнер может заменять несколько "Прогрессов". Использование "Парома" и грузовых контейнеров позволит снизить себестоимость выводимых на

орбиту грузов в три-четыре раза по сравнению с использованием "Прогрессов".

Кроме контейнеров грузом для "Парома" могут являться различные негерметичные платформы с крупногабаритной научной аппаратурой, модули орбитальной станции, а также корабль "Клипер". Запуск первого "Парома" планируется осуществить в 2009 г. Сначала он будет испытан и отработан при доставке к МКС грузовых контейнеров, а затем его можно будет использовать для транспортировки корабля "Клипер".

Третий этап работ по системе — создание корабля "Клипер" с использованием задела и результатов летной квалификации систем и конструкций первых двух этапов. Проект корабля отвечает всем требованиям, предъявляемым к транспортному средству нового поколения: численность экипажа 6 человек, доставка и возвращение грузов до 500 кг при полном составе экипажа, высокая экономическая и технико-эксплуатационная эффективность, привлекательность для возможных потребителей. На использовании инфраструктуры "МКС — Клипер" построена реализация предлагаемых лунной и марсианской программ.

3. Начало промышленного освоения Луны

Осуществить промышленную экспансию на Луну предполагается в три этапа. При ее реализации будет использоваться уже существующая наземная инфра-

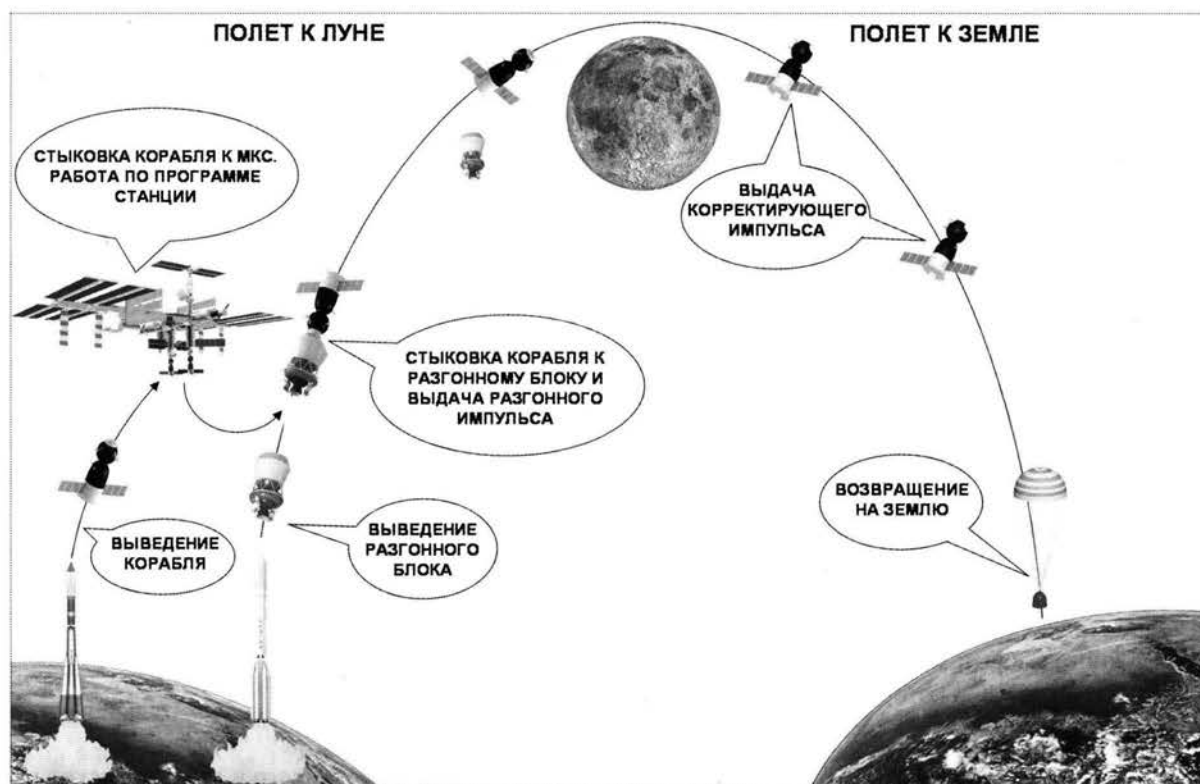


Схема облета Луны

структура: производственные мощности предприятий, стартовые комплексы, монтажно-испытательные корпуса, наземный комплекс управления и т.д. Кроме того, технологии и процессы стыковок космических кораблей давно отработаны и сейчас имеют высокую надежность. Не надо создавать гигантские ракеты для запуска лунных кораблей. Лунные комплексы сейчас можно собирать на орбите, используя отработанную технологию стыковок.

Первый этап экспансии на Луну — ее облет и высадка на поверхность на базе существующих космических технологий. Будут использоваться серийные РН "Протон" и "Союз", разгонные блоки (РБ) ДМ и "Фрегат", а также модернизированный корабль "Союз". Эти средства обладают высокой надежностью, что значительно снижает технические и экономические риски.

На первом этапе предлагается осуществить четыре экспедиции к Луне. В первой выполняется облет Луны кораблем "Союз" (экипаж — 3 человека). Для этого планируется использовать разгонный блок ДМ, стыкуемый с "Союзом" после его выведения ракетой-носителем "Протон" на опорную околоземную орбиту. Первый пилотируемый облет Луны можно осуществить в 2011 или 2012 г. Во второй экспедиции предполагается пилотируемый полет с выходом на окололунную орбиту. Сначала на околоземную опорную орбиту выводятся два РБ

ДМ, они там стыкуются между собой. Затем с помощью РН "Союз" на ту же орбиту запускается РБ "Фрегат", и еще одним пуском РН "Союз" выводит корабль "Союз". Производится сборка лунного пилотируемого комплекса (ЛПК) в составе двух РБ ДМ, РБ "Фрегат" и корабля "Союз". С помощью первого блока ДМ выполняется разгон к Луне. Второй ДМ обеспечивает торможение и переход ЛПК на околокруговую опорную орбиту у Луны. "Фрегат" необходим для старта комплекса с окололунной опорной орбиты к Земле. Полет на окололунную орбиту возможен в 2013 г. В третьей экспедиции реализуется полет с посадкой лунного взлетно-посадочного комплекса (ВПК) в беспилотном варианте на поверхность Луны. На околоземную орбиту выводятся два РБ ДМ и ВПК. Производится их стыковка, и ВПК отправляется на опорную орбиту у Луны. Затем по схеме второй экспедиции реализуется полет ЛПК на опорную орбиту у Луны, где уже находится беспилотный взлетно-посадочный комплекс. На окололунной орбите производится стыковка ЛПК и ВПК, затем ВПК отстыковывается и совершает посадку на Луну. После выполнения программы работ на поверхности Луны взлетный модуль ВПК стартует и пристыковывается на окололунной опорной орбите к лунному посадочному комплексу. После этого производится отделение ЛПК от модуля и возврат экипажа в корабле "Союз" на Землю. Четвертая

экспедиция реализуется по отработанной схеме третьей экспедиции с переходом двух космонавтов на окололунной орбите на борт ВПК, в котором они совершают посадку на поверхность Луны. После выполнения работ на Луне взлетный модуль ВПК стартует и стыкуется на окололунной орбите к ЛПК. Космонавты возвращаются на борт корабля, а взлетный модуль сбрасывается. С помощью "Фрегата" корабль "Союз" возвращается к Земле. Пилотируемая экспедиция с посадкой космонавтов на Луну возможна в 2015 г.

В настоящее время лунная программа не включена в Федеральную космическую программу России. РКК "Энергия" им. С.П. Королева ведет данные проработки в инициативном порядке и будет предлагать их к реализации.

На втором этапе программы лунной экспансии, к которому можно будет приступить после 2015 г., предполагается создать постоянно действующую много-разовую транспортную систему "Земля—Луна—Земля". В ее составе: многоразовый межорбитальный пилотируемый корабль (ММПК), который будет создан на базе модуля кабины корабля "Клипер", многоразовый межорбитальный буксир (ММБ) с жидкостными реактивными двигателями — для транспортировки ММПК и грузовых контейнеров, ММБ с электрореактивной двигательной установкой (ЭРДУ) и крупногабаритными солнечными батареями — для "медленной" транспортировки больших грузов. По аналогии с околоземной орбитальной станцией должна быть создана также постоянная лунная орбитальная станция как космический порт с базирующимся на ней многоразовым лунным взлетно-посадочным модулем, который будет обеспечивать транспортировку космонавтов и грузов между лунной орбитальной станцией и поверхностью Луны.

На третьем этапе (после 2020 г.) предполагается создание постоянной базы на Луне в целях начала промышленного освоения естественного спутника Земли.

4. Полеты на Марс

Программа пилотируемых экспедиций по исследованию и изучению планеты Марс интегрирует технологии, созданные на предыдущих трех фазах. Марсианский проект вместе с РКК "Энергия" им. С.П. Королева в настоящее время разрабатывают Исследовательский центр им. М.В. Келдыша, ИКИ РАН, ИМБП и ряд других организаций. Проект предлагается реализовывать после 2025 г. в три этапа. На первом этапе создается марсианский экспедиционный комплекс (МЭК). Проводится его отработка во время испытательного полета

на орбиту вокруг Луны и возвращения на околоземную орбиту. Второй этап — первая пилотируемая экспедиция к Марсу без высадки экипажа на поверхность планеты. Выполняется посадка марсианского ВПК на планету в автоматическом режиме, проводятся его испытания и отработка. Взлетно-посадочный комплекс управляется экипажем с борта МЭК, находящегося на околомарсианской орбите. Космонавты проводят детальное изучение поверхности и атмосферы планеты. После этого МЭК возвращается к Земле. Третий этап — первая пилотируемая экспедиция с посадкой экипажа на поверхность Марса.

МЭК должен быть многоразовым. После каждого возвращения на околоземную орбиту на МЭК проводятся регламентные и ремонтные работы. Марсианский комплекс дооснащается, снабжается различными грузами и после этого вновь отправляется в полет к Марсу.

В состав МЭК входят: марсианский орбитальный корабль (МОК), ВПК, спасательный корабль возвращения к Земле (на случай аварийных нештатных ситуаций), электрореактивная двигательная установка и солнечный буксир.

МОК состоит из жилого и двух складских модулей. Для защиты от радиации используются баки с топливом. Система жизнеобеспечения — частично замкнутого цикла. Прообразом МОК является служебный модуль "Звезда", в настоящее время входящий в состав МКС. ВПК (новая разработка) состоит из посадочного, жилого и взлетного модулей.

При создании ЭРДУ для МЭК будут использованы технологии, отработанные на межорбитальном буксире с ЭРДУ для лунной программы. Для создания солнечного буксира предлагается использовать пленочные солнечные батареи. Конструкция солнечного буксира выполняется с применением технологий, которые использовались при создании ферменных конструкций "Софора", "Рапана", "Краб" на орбитальной станции "Мир".

Доставка экипажа и грузов с Земли на борт МЭК и их возвращение обратно на Землю после выполнения марсианской экспедиции и прибытия МЭК на околоземную орбиту будет осуществляться с помощью системы "Клипер".

Основной целью пилотируемой космонавтики в XXI в. должно стать промышленное освоение человечеством Солнечной системы. Это позволит получить доступ к новым ресурсам Солнечной системы и одновременно получать новые знания в интересах развития цивилизации.

УДК 629.7

Становление аэрокосмической науки

К.В. Фролов

В статье рассказано о становлении аэрокосмической науки. Рассмотрены некоторые направления ее практического применения с учетом важного значения освоения околоземного пространства и космоса для обеспечения естественных условий жизни на Земле.

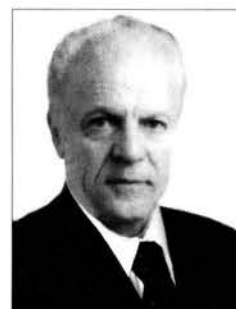
K.V. Frolov. Aerospace Science Establishment

The article outlines the milestones of the aerospace science establishment with respect to some of its practical applications and the ever-growing importance of near-Earth and far space exploration for needs of humanity on the Earth.

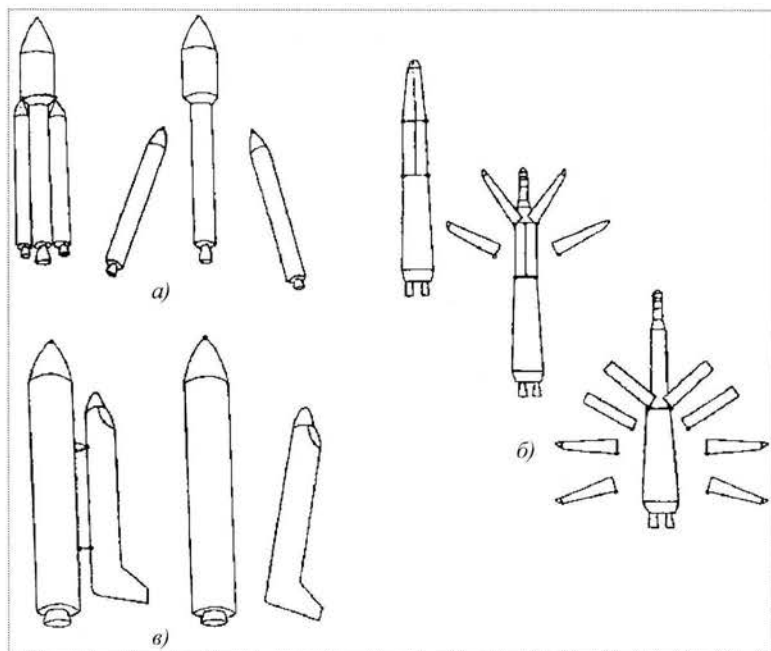
Аэрокосмическая наука сформировалась в XX в. Мечты о полете в космос веками будоражили фантазию человека, но не хватало фундаментальных знаний, навыков расчета и конструирования космических аппаратов, соответствующих материалов, автоматизированных систем управления, связи и многого другого. Был и "разумный скептицизм" — отрицание самой возможности полета человека в космос, как минимум, по трем причинам: ракета, обремененная большой массой горючего, требуемого для развития космической скорости, просто не взлетит, а если даже взлетит, то сгорит в атмосфере подобно метеориту, ну а если не сгорит, то ни одно живое существо не выдержит перегрузки от чрезмерных ускорений. Научно-технический прогресс, характеризующий XX в., государственная заинтересованность в обеспечении приоритетного развития фундаментальных наук, энтузиазм ученых и целой плеяды специалистов позволили в исторически кратчайшие сроки разработать основы комплексной аэрокосмической науки и создать необходимую аэрокосмическую технику.

Комплексный характер аэрокосмической науки определяется взаимообусловленностью множества специфических явлений и процессов, проявляющихся во время запуска, полета и посадки космических аппаратов. В научном обеспечении подготовки и проведении космических исследований активно участвует Российская академия наук, стоявшая у научных и организационных истоков космических исследований. В начале 1950-х гг. в академии создается Комиссия по исследованию верхних слоев атмосферы. При содействии президента Академии наук СССР С.И. Вавилова большой коллектив ученых и конструкторов, возглавляемый председателем этой комиссии, известным специалистом в области баллистики А.А. Благонравовым и С.П. Королевым, положил начало разработке и запуску высотных геофизических ракет, названных "академическими". Разносторонняя информация, полученная во время этих запусков, имела неоценимое научное значение. Успешное достижение поставленных целей обусловило стремление начать первые шаги для осуществления великой мечты К.Э. Циолковского — выхода человека в космическое пространство.

С середины 1950-х гг. научные учреждения Академии наук в значительной мере перекладываются на подготовку и проведение космических исследований. Огромный резонанс во всем мире вызвал запуск в нашей стране 4 октября 1957 г. первого в истории человечества искусственного спутника Земли. В октябре 1958 г. при Международном со-



ФРОЛОВ
Константин Васильевич —
директор Института машино-
ведения им. А.А. Благонра-
вова РАН, академик РАН



Динамика процесса разделения ступеней и элементов ракетных систем:

a...б — схемы компоновки космических кораблей и разделения их составляющих

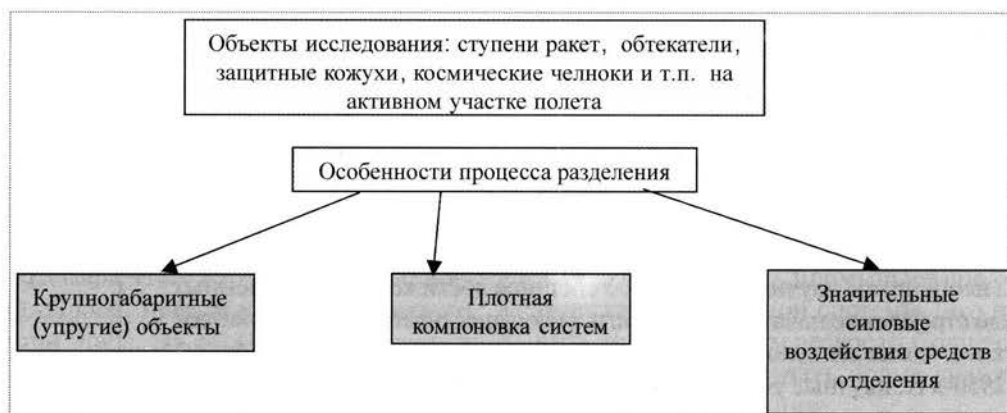
вете научных союзов был создан Комитет по космическим исследованиям — КОСПАР. Национальными членами КОСПАР стали научные учреждения 36 стран: Австрии, Англии, Италии, СССР, США, Франции, Японии и др. А.А. Благонравов был назначен представителем нашей страны в этой международной организации. Тогда же он стал членом исполнительного комитета, а в 1959 г. — вице-президентом КОСПАР.

В течение многих лет Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) проводит исследования по ряду важнейших проблем космонавтики. Одна из них — анализ закономерностей

образования повреждений в несущих высокоскоростных технических объектах, определяющих возникновение аварийных и катастрофических ситуаций. Совместно с КБ общего машиностроения построена система функциональных зависимостей, необходимых для определения остаточных ресурсов критических элементов (применительно к стартовым ракетно-космическим комплексам).

Среди актуальных проблем, по которым ведется работа в институте, — диагностика и динамика процесса разделения ступеней и элементов ракетных систем; имитационное моделирование динамических процессов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД); динамика быстровращающихся роторов турбонасосных агрегатов ЖРД; синтез активных систем виброизоляции на космических объектах; развитие технологии изготовления элементов ракетных систем из алюминиево-литиевых сплавов; исследование и анализ проблем трения в космосе и др.

В качестве примера остановимся на диагностике и динамике процессов разделения и снижения вибронегруженности узлов и элементов перспективных упругих ракетно-космических систем (РКС) — ступеней ракет, обтекателей, космических челноков и т.п. — на активном участке полета. При проведении работ в этом направлении сформулирована и решена задача исследования РКС с упругодеформированными элементами конструкции, разработаны и систематизированы математические модели объектов, исследовано влияние упругости на процесс разделения, проанализировано влияние формы импульсного воздействия на характер процесса разделения. Показана зависимость отдачи от места расположения силовых воздействий и от времени задержки срабатывания механизмов разделения



Диагностика процессов разделения и снижения вибронегруженности узлов и элементов перспективных упругих РКС

ния. Результаты исследований позволяют определить условия, необходимые для обеспечения штатного режима разделения.

Разработаны специализированные прикладные программы, реализующие математические модели объектов. Программы обладают достаточной гибкостью и возможностью быстрого расширения.

Выполнены анализ и структурная оптимизация характерных схем отделения по уровню возбуждения колебаний и величине потерь скорости отделения. Сформулированы требования, предъявляемые к организации процессов разделения крупногабаритных ракетно-космических объектов, как общие, так и специфические, характерные для процессов разделения конкретных конструкций. На базе этих требований предложены технические решения по конструктивному исполнению средств и узлов фиксации и разделения стыков ракетно-космических объектов, обеспечивающие надежную и безопасную реализацию процессов разделения. Экономический эффект — снижение стоимости запуска космических аппаратов.

Интересные научно-исследовательские работы по развитию технологии новых материалов выполнены институтом совместно с Ливерморской национальной лабораторией и компанией "Боинг" (США). В 2000–2006 гг. разработана технология изготовления криогенного бака для жидкого кислорода из нового алюминиево-литиевого сплава 1463 для одноступенчатой ракетной системы. Изготовление опытного образца бака и его испытания были проведены совместно с РКК "Энергия".

Определены механические характеристики тонкостенных (менее 2 мм) экструзионных панелей с ребрами жесткости из новых алюминиево-литиевых сплавов типа 1443 при статическом и динамическом воздействии. Разработана технология сварки элементов конструкций фюзеляжа самолета из тонкостенных панелей из алюминиево-литиевых сплавов. Изготовлены экспериментальные образцы сварных конструкций фюзеляжа. Исследованы поля напряжений в элементах сварных конструкций фюзеляжа самолета из новых алюминиево-литиевых сплавов.

В рамках контракта с Ливерморской лабораторией проведены совместные разработки по созданию алюминиевых сплавов со стопорами развития усталостных трещин, а также разработки технологии создания сварного фюзеляжа самолета из алюминиево-литиевых сплавов и сварных обечаек из этих сплавов для жидкого кислорода.

ИМАШ РАН стал головной организацией по координации комплексных работ НИАТ, ИПСМ, ВИЛС.

В период 2004–2006 гг. были совместно выполнены научно-исследовательские работы для ОАО "ОКБ "Сухой" по проекту создания самолета пятого поколения. Результаты исследований новых алюминиево-литиевых сплавов позволяют снизить массу изделий из таких сплавов при существенном повышении их долговечности и технологичности, в том числе сварных конструкций.

Трибологическая надежность в значительной степени характеризует надежность и качество технической системы. Задачи по созданию методов и средств обеспечения надежности и долговечности узлов трения, функционирующих в открытом космосе, были впервые поставлены основоположником практической космонавтики С.П. Королевым. Интерес к данной проблеме стимулировала авария космического аппарата — триботехнический отказ системы ориентации. Трибологические отказы связаны как с разрушением поверхностных и приповерхностных слоев трущихся деталей, так и с заклиниванием соединения вследствие попадания абразивных частиц, его ослаблением под воздействием вибраций и других факторов. Существенную роль играет наличие вибраций, которые не только вызывают разрушение поверхностных слоев трущихся деталей, но и активизируют процессы разрушения, особенно при тангенциальных перемещениях.

В ИМАШ РАН проводится большая работа по анализу и предотвращению трибологических отказов в космических системах. Узлы трения таких систем подвержены воздействию вибрационных и ударных нагрузок, вакуума, микрометеоритов, космической радиации, высоких и низких температур и весьма резкого их перепада. Они функционируют в условиях влияния полей различной физической природы, невесомости, повышенной испаряемости смазочных средств и сублимации элементов конструкционных материалов. При этом трущиеся элементы должны обладать высокой надежностью, точностью, минимальными массогабаритными характеристиками, обеспечивать минимальные потери в узлах трения.

Механические узлы — зубчатые передачи, волновые и планетарные, подшипники качения и скольжения, направляющие, передачи "винт-гайка" и др. — типичны для космических систем. Проблемы, связанные с трением, возникают при обеспечении длительной работоспособности механизмов планетоходов, забора грунта, управления телевизионными камерами, а также в системах жизнеобеспечения космонавтов, где используются приводы вентиляторов, гидроразделителей, устройств для физической тренировки космонавтов (беговой дорожки, велоэргометра) и т.д.

Многолетний опыт эксплуатации космических систем подтвердил необходимость обстоятельного исследования их трибологической надежности и ресурса. Таким образом, штатные исследования по проблемам статической прочности, жесткости, герметичности, виброударной прочности, теплостойкости таких систем должны быть дополнены трибологическими исследованиями. Экспериментально-теоретические и расчетные направления трибологических исследований, оценка надежности и ресурса систем по трибологическим критериям являются основой для оптимального проектирования космических узлов трения.

Как известно, в настоящее время уделяется большое внимание вопросам производства новых материалов, исследованию фундаментальных законов физико-химических процессов и проблем биомеханики в условиях практической невесомости. Упругие колебания конструкции космического аппарата, способствующие возникновению остаточных бортовых ускорений, осложняют решение этих задач. Для микрогравитационных платформ ИМАШ РАН предложены методы и конструктивные решения на основе активной системы защиты.

Анализ проблемы по защите научного и технологического оборудования от внешних силовых воздействий микрогравитационного уровня ($10^{-4} \dots 10^{-3} g$) на космических аппаратах позволяет выделить две основные задачи:

абсолютная и относительная ориентация научных приборов и оборудования с точностью позиционирования по углам отклонения до $10''$ в инерционном пространстве;

обеспечение уровня внешних силовых воздействий, характеризуемого менее $10^{-5} g$, для технологических платформ, связанных с исследованиями по материаловедению и молекулярной биологии.

На первом этапе для решения этих задач необходимо получить математическое описание вибрационного поля несущей конструкции космической станции и параллельно рассмотреть возникающие в процессе работы продолжительные по времени однонаправленные перегрузки. После анализа возмущений определяется структура виброзащиты с использованием комбинации пассивных и активных систем. Затем выбирается вариант позиционирования объекта при длительных перегрузках и разрабатывается схема управления активной виброизоляцией, включающая информационные датчики, цифровые процессоры для обработки сигналов и управления исполнительными приводами.

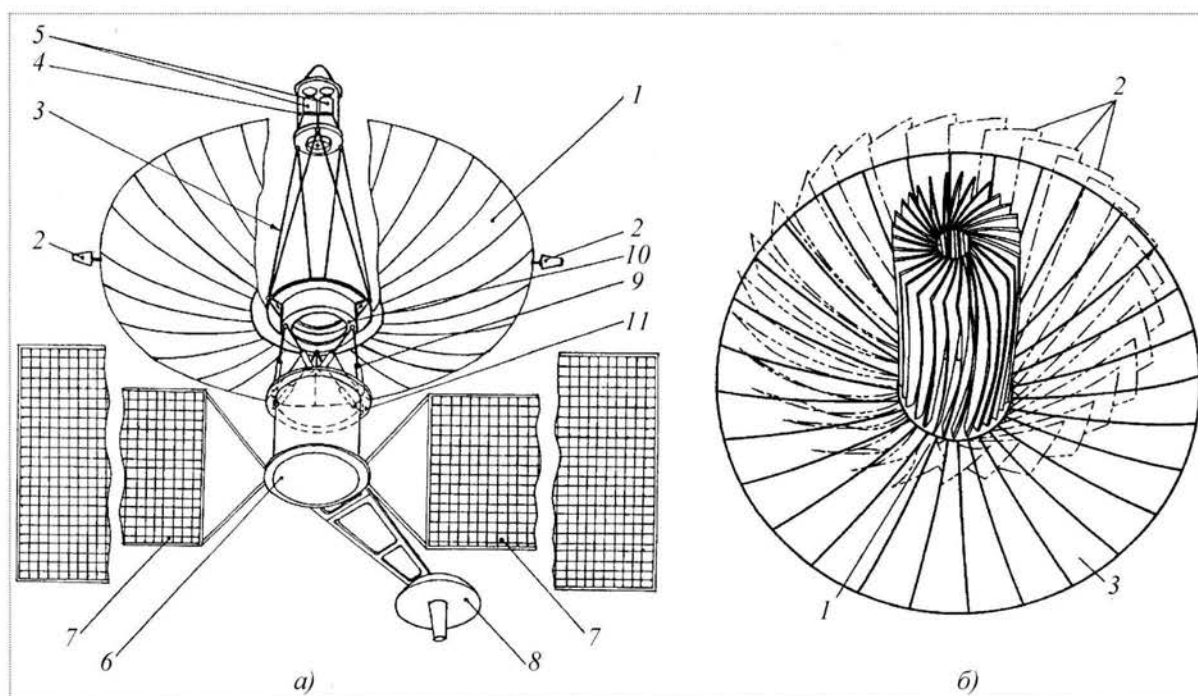
Для исследования одномерного модуля системы виброзащиты от внешних воздействий разработан ком-

плекс измерения параметров состояния объекта и управления исполнительными механизмами в реальном масштабе времени. Разработаны система регулирования и алгоритм управления образцом модуля. Управляющий алгоритм реализован для системы, которая представляет собой качающуюся с малым ускорением платформу и закрепленную на ней модель одномерного модуля системы виброзащиты. Система динамической компенсации изменения пространственных координат платформы построена на алгоритме снятия показаний датчиков перемещения платформы относительно системы отсчета и модели модуля относительно платформы в дискретные моменты времени, определенные частотой программного обеспечения. Экспериментальные исследования на измерительном комплексе показали, что выбранная система регулирования и алгоритм управления справляются с поставленной задачей снижения внешнего воздействия на защищаемый объект и удовлетворительно согласуются с результатами математического моделирования.

На основе результатов исследований системы виброзащиты от внешних воздействий институтом совместно с ИФТТ РАН была разработана схема устройства для плавки металлов и сплавов во взвешенном состоянии. Цель работы — расширение технологических возможностей плавки со свободным парением твердого образца или капли расплава во взвешенном состоянии в невесомости. Получен патент на изобретение № 214826, 27.10.1998 г.

Для решения ряда задач в области космических исследований и практической космонавтики требуется создание раскрываемых на орбите прецизионных крупногабаритных зеркальных антенн, устанавливаемых на космических аппаратах и станциях. Конструкция антенны после раскрытия на орбите должна образовывать поверхности двойной кривизны диаметром 10 м и более. Отклонение рабочей поверхности зеркала от теоретической — не более 10 мк при точности наведения антенны на исследуемый объект до $1''$.

Проведенные в ИМАШ РАН исследования позволили решить новую научно-техническую проблему: создать комплекс научно обоснованных методов анализа и синтеза раскрываемых на орбите прецизионных крупногабаритных механизмов и конструкций зеркальных антенн лепесткового типа; разработать схемно-технические и технологические решения, обеспечивающие их прецизионное формообразование. Результаты данной работы реализованы в ряде отечественных и зарубежных проектов космических систем, в состав которых входят раскрываемые на орбите преци-



Космический радиотелескоп (КРТ):

a – схема (1 – прецизионное складное зеркало антенны; 2 – малонаправленная антенна; 3 – опорная система; 4 – фокальный блок; 5 – звездный датчик; 6 – несущая конструкция космического аппарата; 7 – панели солнечной батареи; 8 – телеметрическая антенна; 9 – переходная ферма; 10 – платформа; 11 – основание); *б* – динамика раскрытия складного зеркала антенны КРТ (1 – центральное зеркало; 2 – лепестки; 3 – рабочая поверхность складного зеркала антенны КРТ)

зионные крупногабаритные зеркальные космические антенны.

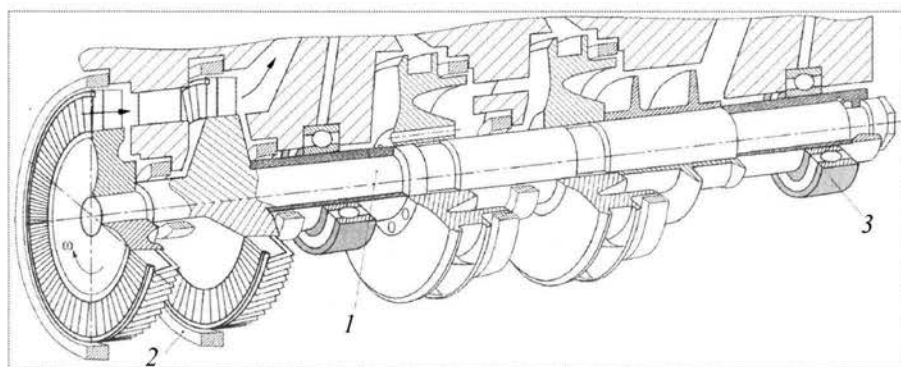
Совместно с КБ "Химавтоматика" (КБХА) в ИМАШ РАН проведены имитационное моделирование и экспериментальные исследования жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), эксплуатируемого в составе ракеты-носителя "Протон", что позволило резко улучшить динамические характеристики двигателя при транспортировке и в полетных условиях, в частности проведено имитационное моделирование динамических процессов ЖРД. Исследованный ЖРД разработан в КБ "Химавтоматика". Его тяга составляет ~60 тс.

ЖРД на всех этапах эксплуатации, как в полете, так и при наземной транспортировке, подвергаются воздействию значительных динамических нагрузок. При этом в ряде случаев имеют место разрушения трубопроводов малого диаметра, элементов крепления агрегатов, связанные с усталостью материалов. Для оценки вибрационных характеристик, динамического напряженно-деформированного состояния и долговечности элементов двигателя на всех этапах эксплуатации на примере данного типа двигателя разработаны способы построения имитационной конечно-элементной модели ЖРД. Эта модель описывает агрегаты, оказывающие наибольшее динамиче-

ское и прочностное влияние на конструкцию, такие как камера сгорания с соплом, турбонасосный агрегат, газогенератор. Учтены также соединяющие их магистрали и элементы крепления.

В результате расчетного анализа свободных колебаний конструкции выделены частотные диапазоны, соответствующие различным типам динамического поведения ЖРД. В каждом из этих диапазонов используются математические модели с необходимой степенью детализации: низкочастотный диапазон (до 110 Гц) – маятниковые колебания двигателя как твердого тела; среднечастотный (110...300 Гц) – совместные колебания нескольких подсистем и высокочастотный (свыше 300 Гц) – локальные колебания отдельных магистралей.

С учетом частотной иерархии моделей проведен анализ вынужденных колебаний и напряженности элементов конструкции двигателя. Определены возмущающие нагрузки, действующие на ЖРД при его эксплуатации: нагрузки при наземной транспортировке (на автомобильном и железнодорожном транспорте); полетные нагрузки до отделения ступеней на этапе выведения; импульсные нагрузки в момент разделения ступеней; тяга двигателя и, в особенности, пульсация тяги двигателя после отделения.



Роторная система турбонасосного агрегата ЖРД:

1 – ротор; 2 – плавающее уплотнительное кольцо; 3 – подшипник

Работоспособность и надежность двигателя определяются, в основном, вибрациями, вызываемыми собственно работой двигателя. Эти вибрации существенно зависят от типа двигателя и крайне трудно прогнозируемы, они устанавливаются на основании летных испытаний. Но, как показали исследования, полетные вибрации связаны, в основном, с пульсацией тяги двигателя. Доля этой составляющей доходит до 70...80 %.

Установлено, что максимальная динамическая напряженность элементов конструкции двигателя достигается в низкочастотном диапазоне (до 110 Гц). При этом наиболее вибронегруженными оказываются сварные трубопроводы. В высокочастотных диапазонах (свыше 300 Гц) уровни вибронпряжений и перемещений элементов конструкции двигателя резко уменьшаются из-за уменьшения пульсации тяги двигателя. Это позволяет ограничить частотный диапазон при виброиспытаниях двигателя до 300...500 Гц (вместо используемых сегодня значений ~2000 Гц) и существенно сократить время их проведения.

Предложенная методология исследования позволяет прогнозировать особенности динамического нагружения двигателей уже на этапе проектирования, до проведения испытаний, а также выявлять наиболее часто подвергающиеся разрушениям элементы конструкции. Определение динамических характеристик ЖРД с использованием рассмотренных выше имитационных моделей было выполнено в ОАО КБХА при анализе динамической напряженности двигателей типа РД0124А и РД0146, а также отдельных элементов конструкции.

Другой важной совместной работой ИМАШ РАН с КБ "Химавтоматика" было исследование динамики быстровращающихся роторов турбонасосных агрегатов ЖРД. Из-за сильной вибрации ротора, вращающегося с частотой в несколько десятков и сотен тысяч оборотов в минуту, при прохождении критических скоростей, а также на эксплуатационных режимах могут возникать его колебания со значительными ампли-

тудами. Это приводит к повышенным нагрузкам на подшипники, недопустимым прогибам, соударениям ротора с корпусом машины. Проблема снижения уровня вибраций быстроходных роторов является одной из важнейших.

Уровень вибрации ротора определяется в основном его неуравновешенностью, а также воздействием аэрогидродинамических сил, возникающих в радиальных зазорах уплотнений. В современных турбонасосных агрегатах в качестве уплотнений применяются плавающие кольца. Уровень вибрации ротора во многом зависит от интенсивности колебаний самих колец. Поэтому для быстроходных роторных систем турбонасосных агрегатов необходимо совместное рассмотрение системы "ротор – уплотнительные кольца – среда".

В результате проведенных исследований таких систем был выявлен ряд характерных эффектов. Было установлено, что при совпадении частоты вращения ротора с парциальной частотой плавающего уплотнительного кольца оно приобретает свойства динамического гасителя колебаний ротора. Выполнение этого условия в заданном диапазоне частот позволяет также осуществить широкополосное динамическое гашение в системе, и что важно, без дополнительных конструктивных элементов.

Явление исчезновения критических скоростей для гибких быстроходных роторов существенно снижает опасность прохождения критических состояний. Этот эффект возникает в результате влияния гидродинамической жесткости рабочей среды, возрастающей пропорционально квадрату скорости вращения. Критические скорости не достигаются, так как собственные частоты ротора возрастают быстрее, чем частота вращения. Данный эффект особенно важен для гибких роторов, которые работают за второй и выше критической скоростью. Отсутствие высших резонансов снимает также проблему их медленного прохождения при разгоне.

Виброударные режимы, при которых происходят виброударные взаимодействия ротора с уплотнениями, чрезвычайно опасны для турбонасосных агрегатов

ЖРД. Вибрация характеризуется скачкообразной прецессией ротора и насыщенным частотным спектром. Особенностью нестационарных процессов является "захват" виброударного режима, который остается и после прохождения критической скорости. Возбуждаются субгармонические колебания, которые приводят к потере устойчивости ротора и большим амплитудам вблизи критической скорости. В результате исследований найдены условия отсутствия виброударных режимов в широкой области изменения частоты вращения и других параметров в системе "рабочий орган — плавающее кольцо — среда".

Следует отметить, что становление и развитие аэрокосмической науки привели к созданию новых, названных космическими, направлений в области физики, механики, машиностроения, материаловедения, химии, биологии, медицины, психологии, информатики и ряда других областей научных знаний. Так, например, космическая биология, в рамках которой осуществляются общепарабиологические, биофизические, биохимические, математические, астрофизические, инженерно-конструкторские и другие исследования, не только изучает проблемы происхождения и эволюции живой материи во Вселенной, но и решает проблемы жизнедеятельности и поведения земных организмов при полетах в космос, а также построения искусственной среды обитания на космических кораблях и орбитальных станциях. Космическая биология тесно связана с медициной.

Космическая медицина — научная дисциплина, в рамках которой осуществляются взаимосвязанные медико-биологические, биофизические, физико-химические, радиотелеметрические, биолого-технические, инженерно-конструкторские и другие смежные научные исследования, направлена на обеспечение безопасности и создание оптимальных условий жизнедеятельности человека на всех стадиях космического полета, разработку клинических и психофизиологических методов отбора и подготовки космонавтов и т.д. Большие и длительные ускорения, невесомость, космические лучи, значительное нервно-психическое напряжение на фоне других факторов космического полета и специфической окружающей среды потребовали широких исследований и разработки мероприятий, снижающих их неблагоприятное воздействие на человека и повышающих устойчивость к этому воздействию. В частности, описанные выше положительные эффекты, полученные в результате изучения вибрации, показали возможность использовать строго управляемую по определенным про-

граммам вибрацию для стимулирования адаптации мышц космонавта после возвращения из космоса.

Деятельность космонавтов обладает рядом особенностей: непрерывностью, жестко регламентированным порядком работы, строгим ограничением времени, отводимого на рабочие операции, участием автоматических устройств и приборов в интеллектуальных и исполнительных процессах, специфическими воздействиями условий космического полета, большой эмоциональной нагрузкой, постоянным нервным и умственным напряжением. В рамках космической психологии разрабатываются специальные экспериментально-психологические методики, направленные на рациональное регламентирование жизнедеятельности космонавтов, обнаружение и мобилизацию функциональных возможностей организма человека и его адаптацию к разнообразным факторам космического полета.

Космическая физиология — раздел космической биологии и медицины, изучающий основные процессы жизнедеятельности и функционирования физиологических систем в условиях воздействия на организм всей совокупности факторов космического полета (перегрузок, вибраций, шумов, связанных со стартом, активным участком полета космического корабля и его спуском, а также состояния невесомости, действия космических лучей, изменения привычных суточных и сезонных ритмов и т.п.).

Космическая микробиология изучает воздействие факторов космического полета на живые организмы. Исследуется влияние факторов космического полета на жизнедеятельность микроорганизмов, что необходимо для решения общепарабиологических, а также ряда технических и медицинских вопросов. Микроорганизмы являются хорошей моделью для изучения хромосомного аппарата живой клетки и обусловленного им течения ряда биохимических процессов.

Космическая иммунология занимается изучением состояния иммунореактивности космонавтов при воздействии на них факторов космического полета, а также разработкой рекомендаций по ее нормализации.

Изучением химического состава космических тел, законов распространения и распределения химических элементов во Вселенной занимается космохимия. Образование химических элементов связано с различными ядерными процессами в звездах. Одной из важнейших задач космохимии является изучение эволюции космических тел, исследования, позволяющие объяснить на химической основе их происхождение и историю.

Столетиями естественные процессы эволюции природы воспринимались как стихийные аномалии из-за отсутствия полной картины их наблюдения. Настало время комплексного изучения этих глобальных процессов в их совокупности и взаимосвязи. Возникшие возможности проводить на принципиально новом уровне исследования космического и околоземного пространства позволяют решать проблемы мониторинга поверхности Земли, контроля за экологическим состоянием земной поверхности и околоземного пространства, высотного картографирования и другие жизненно важные проблемы.

Многие достижения космонавтики нашли практическое применение в земной жизни. Достаточно вспомнить о роли искусственных спутников Земли в навигации, теле- и радиокommunikации, исследовании инфраструктуры земной поверхности, предсказании глобальной погоды и, наконец, о решении ряда специальных вопросов, в том числе борьбы с терроризмом.

В заключение следует заметить, что гигантский поток исследовательских материалов, получаемых из космоса, не всегда качественно и надежно обрабатывается в земных условиях, что тормозит дальнейшее развитие перспективных космических исследований. Необходимо философское осмысление полученных научных фактов и экспериментальных данных, для того чтобы решать на новом уровне проблемы освоения околоземного пространства, Луны и дальнего космоса. На определенном этапе соперничество двух мировых систем служило стимулом общего развития ракетостроения и освоения космоса. В настоящее время в интересах объединения экономических возможностей и научного потенциала стран это соперничество перешло в сотрудничество. Тем не менее развитие национальной космонавтики остается важнейшей актуальной задачей, и Российская академия наук должна сказать свое слово при выборе приоритетов среди новых космических исследований ближайшего периода.



ДАЙДЖЕСТ **ДАЙДЖЕСТ** **ДАЙДЖЕСТ** **ДАЙДЖЕСТ** **ДАЙДЖЕСТ** **ДАЙДЖЕСТ** **ДАЙДЖЕСТ**

Россия, Европа и Япония планируют совместно запустить спутники по изучению Меркурия в 2012 г.

Роскосмос участвует в международном космическом проекте "Бепи Колombo" совместно с Европейским и Японским космическими агентствами: на два космических аппарата будет установлено несколько научных приборов российской разработки. Запуск к Меркурию комплексного космического аппарата намечен на 2012 г.

В изучении Меркурия примут участие спутник для дистанционных исследований поверхности планеты и спутник для исследований ее магнитосферы. В состав научной аппаратуры для дистанционных исследований планеты и ее магнитосферы входит российский прибор "Гамма" и нейтронный спектрометр МГНС. Кроме того, Россией совместно с Японией, Францией и Австрией создаются еще три прибора.

Ранее запуск аппаратов планировался на 2010 г., но график работ был пересмотрен из-за нехватки средств у Европейского космического агентства.

РКК "Энергия" планирует создать и запустить в 2008 г. для "Газкома" два спутника связи "Ямал-300"

"Компания "Газком" заказала РКК "Энергия" изготовление и запуск еще двух спутников связи "Ямал-300". Космические аппараты находятся в производстве, запуск планируется осуществить в 2008 г.", — сообщил президент РКК "Энергия" Н.Н. Севастьянов.

Спутниковая система "Ямал" хорошо зарекомендовала себя за прошедшие годы. Первый спутник "Ямал" был запущен в 1999 г., еще два спутника — "Ямал-200" — в 2003 г. "Спутники показали хорошие результаты. Это первая в России промышленная спутниковая система, которая создавалась на принципах проектного финансирования, когда инвесторы вкладывали деньги и банки давали кредиты под этот проект на базе бизнес-плана", — сказал глава "Энергии".

По словам Н.Н. Севастьянова, первый "Ямал-100" окупился еще в 2003 г. Спутники "Ямал-200" показывают хорошие результаты, они уже полностью загружены, через них осуществляют вещание более 60 телевизионных российских каналов, как центральных, так и региональных. Через спутники идет вещание более 20 зарубежных каналов, что составляет примерно 30 % их орбитальной емкости. Это показывает, что мы можем успешно работать на зарубежном рынке. Российские связи технологии не уступают западным. Мы можем не уступать не только в пилотируемом, но и в автоматическом космосе, где зарубежные аэрокосмические компании ранее держали лидерство", — отметил он.

"Самое главное, — считает Н.Н. Севастьянов, — что в результате создания новой спутниковой системы начали подниматься мультисервисные сети, которые позволяют дать связь в регионы, в самые удаленные уголки, в самые маленькие деревни".

Вестник Интерфакс — АВН № 43 (266), 2006 г.

УДК 629.7

Развитие научных исследований в области гражданской авиации

А.Н. Серьезнов

Рассмотрены возможные пути развития научных исследований в области гражданской авиации. С учетом многообразия этапов развития авиации представлены проекты самолетов ближайшего будущего, в том числе самолета-летающее крыло, самолета с несущим фюзеляжем. Отмечено, что для решения этой проблемы необходимо сконцентрировать научные ресурсы и средства на фундаментальных исследованиях в области авиации, которые приведут к радикальному изменению облика самолета и его энергетических установок.

A.N. Seryoznov. Progressive Research In Civil Aviation

The article scrutinizes the possible progress, researches can achieve as far as civil aviation development is concerned. With respect to the multiple stages of aviation development, projects of aircraft in the near future are outlined, including the flying wing aircraft and the lift fuselage aircraft. Mention is made that the concentration of scientific resources and assets on fundamental researches in aviation should result in the radical transformation of aircraft looks and their power plants.

Авиационная промышленность является одной из ведущих наукоемких отраслей. В течение длительного времени развитие авиации соответствовало принципу "выше, дальше, быстрее...". В последние годы на смену этому девизу пришел другой: "доступнее, надежнее, чище, тише..." (тише означает уменьшение звукового воздействия на окружающее пространство, но не уменьшение скорости полета). Воздушное путешествие должно быть дешевым, безопасным, экологически чистым и максимально быстрым.

Существуют как минимум три долговременные программы развития авиационной техники: российская, европейская и американская. Для выполнения этих программ требуются значительные инвестиции в научно-исследовательские и технические разработки. Составители этих программ не дают подробного плана исследований и намечают лишь контуры дальнейших разработок и технических решений.

Основные цели Федеральной целевой программы: "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г.":

1. Обеспечить производство гражданской авиационной техники предприятиями отечественной авиационной промышленности в целях удовлетворения спроса на нее на внутреннем и внешнем рынках.
2. Переоснастить парк воздушных судов для обеспечения пассажирских и грузовых перевозок и авиационных работ.
3. Поддержать развитие научно-технического и производственного потенциала отечественной авиационной промышленности.

Основные технические характеристики летательных аппаратов, создаваемых по Федеральной целевой программе, а также по европейской и американской программам, представлены в табл. 1.

Основные цели Европейской программы аэрокосмических исследований:

1. Сократить летные происшествия в пять раз.
2. Уменьшить слышимый шум самолетов в два раза.



СЕРЬЕЗНОВ
Алексей Николаевич —
директор Сибирского
научно-исследовательского
института авиации
им. С.А. Чаплыгина,
доктор техн. наук

3. Уменьшить выделение CO₂ на платный пассажиро-километр на 50 % (вдвое снизить расход топлива).

4. Сократить выделение окиси азота на 80 %.

5. Разработать системы управления воздушным движением в целях повышения в три раза интенсивности полетов.

Следует отметить, что авиапромышленность должна отвечать постоянно растущим требованиям снижения стоимости перевозок, более качественного обслуживания, выполнения высоких норм безопасности и экологии.

Основные цели NASA в области авиации:

1. Снизить частоту летных происшествий в 5 раз к 2007 г. и в 10 раз к 2022 г.

2. Утроить производительность авиационного комплекса к 2007 г. при обеспечении безопасности.

3. Снизить цену воздушного путешествия на 25 % к 2007 г. и на 50 % к 2022 г.

4. Снизить вредную эмиссию будущих самолетов (в 3 раза к 2007 г. и в 5 раз к 2022 г.).

5. Понизить уровень шума будущих самолетов в 2 раза к 2007 г. и в 4 раза к 2011 г.

6. Сократить время полета по трассе Европа — Дальний Восток вдвое к 2022 г.

7. Создать стимулы для промышленности в целях увеличения годового выпуска до 1000 единиц самолетов и вертолетов авиации общего назначения и до 20 000 единиц к 2022 г.

8. Сократить на 50 % продолжительность цикла разработки экспериментальных самолетов за счет развития новых методов проектирования и испытаний.

Отечественный и зарубежный опыт авиастроения показывает, что требования высокой надежности и безопасности эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) обеспечиваются следующими исследованиями:

по доводке аэрокосмических характеристик ЛА в объеме 10...15 тыс. ч продувок в аэродинамических трубах;

прочностных характеристик ЛА путем проведения статических и усталостных стендовых испытаний в объеме 180 000 эквивалентных летных часов;

по доводке газодинамических, прочностных и ресурсных характеристик авиадвигателей в объеме 10...20 тыс. ч на наземных стендах и в летных испытаниях;

отказобезопасности и надежности бортовых систем на вычислительных и моделирующих комплексах в объеме 5000...6000 ч.

Выполнение этих работ требует длительного времени и больших капиталовложений. Например, ресурсные испытания самолета Боинг 747 обошлись в 27 млн дол.

Рассмотренные программы включают разработку новых авиационных конструкций с уменьшенной массой, перспективных схем летательных аппаратов повышенной пассажироместимости. Основные исследования направлены на снижение сроков разработки ЛА на 15...30 % и стоимости работ на 35 %, защиту от внешних воздействий, снижение шума самолетов, уменьшение на 20 % аэродинамического сопротивления, улучшение аэродинамических характеристик, разработку новых видов авиационных двигателей, изучение спутных

Т а б л и ц а 1

Основные цели программы	Россия (15 лет)	Страны ЕКА (20 лет)	США (25 лет)
Снижение аэродинамического сопротивления	10...20 %	20 %	20 %
Снижение массы силовой конструкции	До 20 %	20 %	20 %
Увеличение ресурса самолетов нового поколения	В 2...3 раза	—	—
Повышение коэффициента безопасности полета	В 5 раз	В 5 раз	В 10 раз к 2022 г.
Топливная экономичность, снижение массы двигателей	10...15 %	В 3 раза	—
Повышение надежности и ресурса двигателей	В 1,5...2 раза	—	—
Уменьшение эмиссии двигателей	В 3 раза	В 3 раза	В 3 раза
Повышение прочности материалов	10...15 %	10...15 %	10...15 %
Температурная жаропрочность	50...100 °С	—	—
Повышение модуля упругости	До 20 %	—	—
Снижение коэффициента вариации свойств неметаллов	На 10...15 %	—	—
Уменьшение шума	В 3 раза	В 2 раза	В 2 раза
Снижение прямых эксплуатационных расходов	15...25 %	—	10...20 %
Сокращение времени разработки новых авиационных технологий	—	15...30 %	50 %

струй, создание новых методов управления воздушным движением в целях уменьшения летных происшествий, новых технологий изготовления самолетов и перспективных методов представления информации экипажу — новых бортовых систем кабины экипажа, а также на решение проблемы старения самолетов.

В табл. 2 представлены основные направления перспективных исследований и разработок, выполняемых в рамках "Шестой рамочной программы Европейского сообщества на 2002–2006 гг.". Эти общие направления показывают пути развития авиации на ближайшее время (заметим, что традиционные схемы летательных ап-

Т а б л и ц а 2

Название проекта	Акроним	Проект
Airframe Technologies for Environmentally Friendly Aircraft	ATEFA	Авиационные технологии для разработки самолета, благоприятного для окружающей среды
Environmentally Friendly Aero Engine	VITAL	Авиадвигатель, благоприятный для окружающей среды
ATM of the Future "FMS/CNS" Functionalities	AFF	АТМ будущих функций FMS и CNS
Advanced Cabin and Multimedia Services for Improved Comfort and Efficiency	ADCAB	Современная кабина и мультимедийное обеспечение для повышения уровня комфорта и эффективности
Advanced and Low Cost Airframe Structures	ALCAS	Перспективные и низкостоймостные конструкции самолетов
Maintenance Free Airframe Structures	—	Авиационные конструкции, не требующие техобслуживания
Aero Engine for Affordable Air Travel	Afford Turb	Авиадвигатель для возможных воздушных путешествий
Novel Rotorcraft for Gate to Gate Passenger Transport	NICE TRIP	Новый винтокрылый летательный аппарат для перевозки пассажиров "от двери до двери"
More Electrical Aircraft	MOET	Самолет, использующий электроэнергию в большем объеме
Innovative Technical and Business Concepts for the next Generation of Highly Competitive European Turbofans	NOVAFAN	Инновационные технические и бизнес-концепции для следующего поколения конкурентоспособных европейских турбовентиляторов
Aero Engine New Concepts	NEWAC	Новые концепции авиадвигателей
Environmentally Helicopter	FRIEND-COPTER	Вертолет, благоприятный для окружающей среды
Small Common Core Aero-Engine Integrated Project	COMCO	Интегрированный проект небольшого авиадвигателя
Airborne Integrated Systems for Safety Improvement. Flight Hazard Protection and All-weather Operation	FLYSAFE	Интегрированные бортовые системы для повышения уровня безопасности, защиты от рисков полета и работы в любых погодных условиях
Safe and Beneficial Approach/Landing and Ground Movement Procedures and Technologies	ALGOS	Процедуры и технологии безопасного и выгодного захода на посадку, посадки, движения по земле
ALL Composite Small Aircraft	ALLCOMP	Цельнокомпозитный небольшой самолет
Supersonic Cruise Jets SSBJ and ESCT	SUPER-SONIC	Сверхзвуковые межконтинентальные деловые и коммерческие самолеты
Next Generation Air Systems	NEGAS	Следующее поколение воздушных систем
New Aircraft Concepts Research	NACRE	Исследования новых концепций самолета
The Virtual Engine and Engine Enterprise	VERTIGO	Виртуальные двигатели и фирмы — производители двигателей
The Virtual Product within Virtual Enterprise	—	Виртуальные продукты виртуальных фирм
Technologies and Techniques for New Maintenance Concepts	TATEM	Технологии и методы новых концепций обслуживания
Security of Aircraft in the Future European Environment	OPERA	Безопасность самолета в будущем европейском пространстве
Open Platform Enabler for Revolutionary Technology	OPERA	Открытая платформа, дающая возможность революционного прорыва в технологиях

паратов и двигатели находятся достаточно близко к пределу своих возможностей для совершенствования).

Создание и эксплуатация новейших образцов авиатехники требуют применения самых современных достижений науки и техники в различных областях знания — в аэродинамике, теории прочности, металлургии, химии, электронике.

Дальнейшее повышение технико-экономической эффективности самолетов можно искать в рамках выбора новых аэродинамических форм, в которых противоречивые факторы, влияющие на эффективность самолета, взаимно дополняют друг друга.

Рассмотрим некоторые возможные пути развития авиационных систем и конструкций.

Одним из недостаточно изученных подходов к ламинаризации обтекания потоком крыла самолета является создание микрошероховатости на передней кромке крыла. Располагаясь в определенном порядке, они создают волны в пограничном слое, которые приводят к ослаблению волн неустойчивости набегающего потока, а следовательно, к уменьшению турбулентности.

Уменьшение шума самолета во время взлета и посадки также является одной из очень важных проблем. Как известно, источниками шума в этих случаях являются двигатель, конструкция планера и шасси. В настоящее время ужесточаются нормативные требования по шуму.

Желая создать новые летательные аппараты, отличающиеся высокой эффективностью, конструкторы обращаются к недостаточно пока исследованной проблеме машущего полета птиц и насекомых (машущее крыло наиболее эффективно на взлете и при висении на месте). Однако недостаточные знания аэродинамики полета, возможностей новых материалов и технологий не позволяют развернуть работы по реализации летательного аппарата с использованием машущего крыла.

Разработка новых авиационных материалов привела к созданию адаптирующихся конструкций. Например, применение адаптирующихся композитных материалов, деформирующих крыло в нужном направлении, позволяет значительно уменьшить его массу. Но эта особенность порождает необходимость по новому рассматривать аэродинамику крыла, а значит, и самолета в целом. Адаптирующиеся конструкции являются предвестниками интеллектуальных конструкций летательных аппаратов.

На каждом этапе развития авиации возникали все более сложные проблемы. С увеличением скорости полета вначале это были флаттер и бафтинг, затем звуковой и тепловой барьеры. Более или менее успешно справившись с этими проблемами, столкну-

лись с информационным барьером. Объем информации (дезинформации), полученный на каждом этапе создания самолета, настолько велик, что становится затруднительным ее восприятие, а также разумное использование.

Если в ближайшие 10–15 лет основным конструкционным материалом для планера самолета останутся алюминиевые сплавы, существенно модифицированные литием, то можно ожидать уменьшения массы самолета на 10...25 %. Применение улучшенных титановых сплавов в конструкции также приведет к снижению массы самолета.

Одним из перспективных направлений снижения массы самолета является использование адаптирующихся композитов — полимерных композитных материалов и углепластиков. Дальнейший прогресс в их использовании основан на создании наноструктурированных материалов и технологий.

Усложнение конструктивных элементов и агрегатов, а также внутренней структуры материала, необходимость учета множества силовых воздействий на конструкцию приводят к необходимости расчета напряженно-деформированного состояния с учетом не только геометрических размеров конструкции, но и изменений свойств материалов и нагрузок во времени. При этом могут возникать трудноисправимые ошибки.

Одним из путей разрешения этой проблемы является создание виртуальной концепции самолета. Она охватывает весь жизненный цикл будущего летательного аппарата: анализ рынка, конструирование, изготовление, испытания, эксплуатацию и утилизацию. Виртуальная концепция основывается на информационных технологиях, включающих экспертные системы, которые учитывают особенности развития самолета на каждом этапе.

Рассмотрим некоторые проекты, которые могут быть реализованы в обозримом будущем.

Гиперзвуковой летательный аппарат. В развитии авиации давно существует тенденция перехода к гиперзвуковым скоростям ($M > 4$). Для них характерны существенный рост температур торможения воздушного потока, нелинейность аэродинамических характеристик при изменении углов атаки и скольжения и другие особенности. Для того чтобы перейти к разработкам конкретных конструкций ЛА с длительным установившимся полетом на гиперзвуковых скоростях, необходимы дальнейшие исследования в области двигателестроения, поиск новых материалов, обладающих более высокими прочностными характеристиками и повышенной температуростойкостью.

Оценки летно-технических характеристик гиперзвукового самолета показали, что он будет разгоняться до скоростей, соответствующих числам $M = 6 \dots 10$. При этом крейсерский полет на дальность $8000 \dots 10\,000$ км на высоте $30 \dots 35$ км будет продолжаться около 60 мин.

Создание гиперзвукового транспортного самолета в ряде стран мира в настоящее время находится в стадии научных исследований и требует крупных финансовых инвестиций.

Сверхзвуковые межконтинентальные, пассажирские, деловые и коммерческие самолеты. Многолетний опыт полетов и эксплуатации сверхзвуковых самолетов Ту-144, "Конкорд", боевых самолетов показал, что существуют, по крайней мере, две проблемы, мешающие развитию сверхзвуковой авиации гражданского применения: высокие интенсивность звукового удара и соотношение дальность/платная нагрузка/стоимость.

Доказано, что на величину звукового удара влияют размерность и конфигурация самолета. Следовательно, если уменьшить массу (рис. 1), изменить размерность и особенно если увеличить длину самолета (рис. 2), то можно уменьшить интенсивность звукового удара. Экспериментальные исследования подтверждают возможность создания сверхзвукового самолета для деловой авиации, самолетов бизнес-класса для $5 \dots 20$ пассажиров. Для общего решения проблемы звукового удара необходимо нетрадиционное решение, основанное на новых физических подходах. Улучшение экономических показателей возможно при высококачественной инженерной проработке аэродинамики конструкции самолета и его двигательной установки.

Таким образом, если не удастся найти новые подходы к решению проблемы звукового удара, то, возможно, будут созданы коммерческие самолеты с пониженной (приемлемой) интенсивностью звукового удара; при этом, конечно, скорость полета будет меньше.

Высокоэффективные пассажирские и транспортные самолеты. Анализ развития пассажирских и транспортных самолетов показывает, что смена поколений происходит только тогда, когда появляются новые образцы-демонстраторы, обладающие ярко выраженными устойчивыми признаками, позволяющими существенно увеличить транспортную эффективность. Такими признаками для самолетов второго и третьего поколений являлись двухконтурные турбореактивные двигатели повышенной надежности и экономичности, для самолетов четвертого поколения толчком послужили достижения в создании сверхкритического крыла и развитие систем управления с высоким уровнем автоматизации.

Анализ основных целей программ развития авиационной техники трех стран (см. табл. 1) показывает,

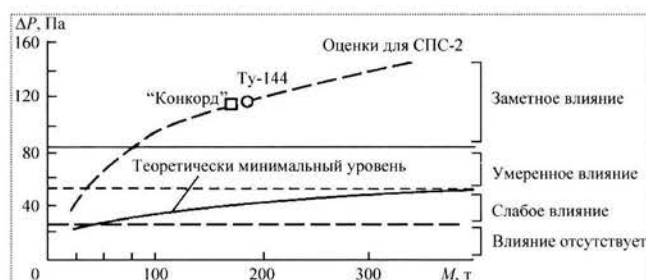


Рис. 1. Зависимость интенсивности звукового удара от взлетной массы

что увеличение эффективности по большинству параметров не превышает 20 %. Это означает (если судить по этим программам), что высокоэффективный "прорывной" самолет может быть только на $10 \dots 30$ % лучше, чем ЛА, поднятый в воздух в настоящее время.

В качестве примера можно привести разрабатываемый современный самолет Боинг 787, у которого летно-технические характеристики лучше, чем у современных самолетов, на 20 %. Это улучшение достигается за счет усовершенствованного двигателя (10 %), хорошо проработанной аэродинамической схемы (5 %) и широкого использования композитных материалов (еще 5 %).

В одной из работ, проводимых по Европейской программе аэрокосмических исследований, предполагается уделить особое внимание поиску новых способов уменьшения шума (включая шум планера на взлетно-посадочных режимах), снижению интенсивности спутных вихрей, исследованиям новых больше-размерных законцовок крыла, детальному изучению деформаций крыла, а также новых законов управления, которые могут быть применены для будущих управляющих поверхностей самолета, разработке новых методов активного управления обтеканием самолета в крейсерском режиме и на малых скоростях, с

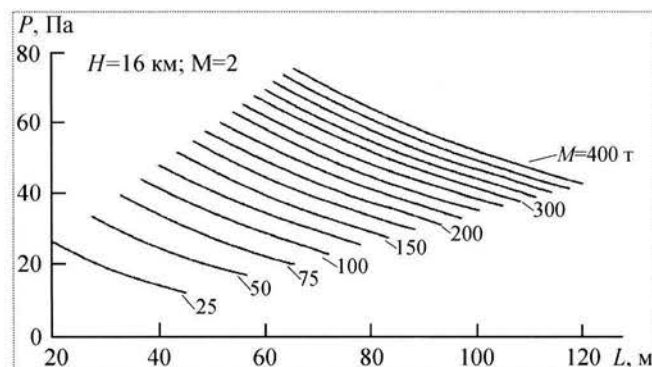


Рис. 2. Зависимость минимального уровня звукового удара от длины самолета для различных значений взлетной массы

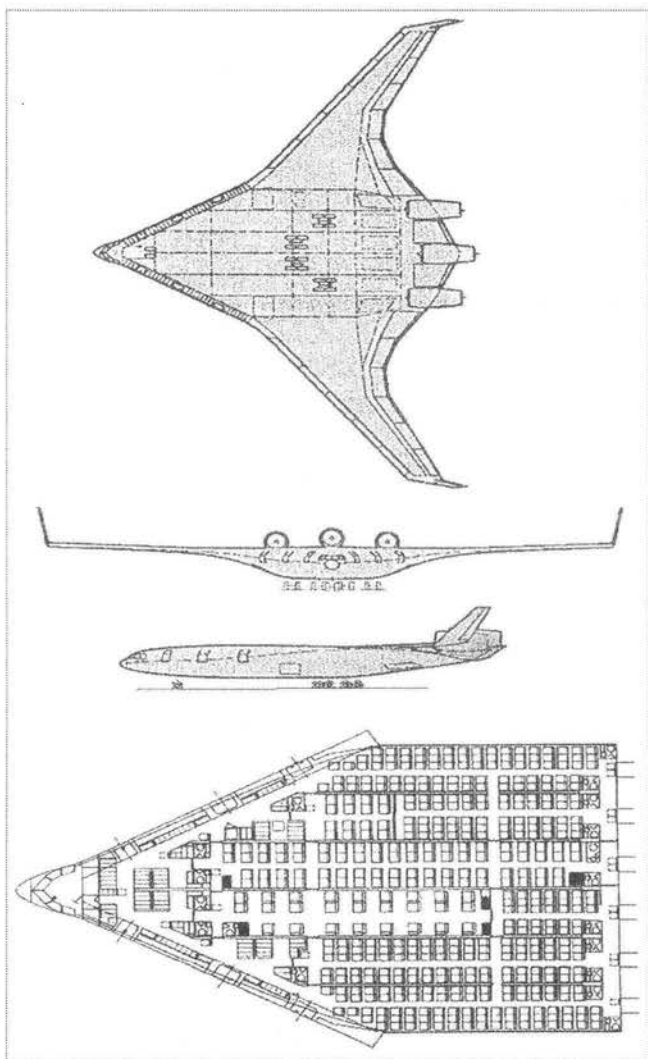


Рис. 3. Схема пассажирского самолета Боинг BWB-450 (внизу схема салона)

использованием конструкций, изготовленных из материалов с памятью формы.

Можно считать, что применение активных методов, таких как местная деформация конструкции, отсос пограничного слоя, эжектирование струи воздушного потока, положительно повлияет на аэродинамические характеристики самолета (например, на увеличение подъемной силы и уменьшение лобового сопротивления). Вместе с тем исследования не направлены на резкие изменения традиционной компоновки самолета. При этом следует учитывать, что любое техническое усовершенствование, связанное с увеличением массы ЛА, в конечном итоге приведет к уменьшению полезной платной нагрузки.

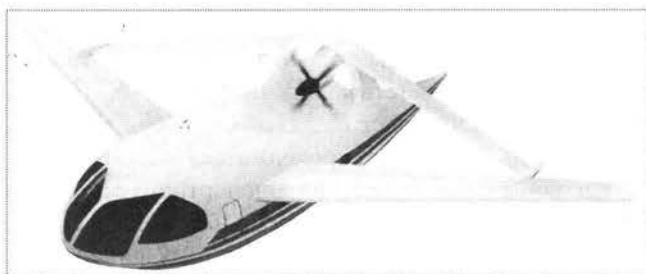


Рис. 4. Рисунок самолета S-2 "Касатка"

В США давно проводились исследования и построен ряд летательных аппаратов, включая боевые ЛА, с использованием концепции "летающее крыло". Использование передовых технологий позволяет усовершенствовать конструкцию самолета и уменьшить массу планера на 10 %. За счет перехода к новым аэродинамическим формам самолета топливная эффективность повышается на 20...30 %. Конечно, на пути создания пассажирского самолета по концепции "летающего крыла" (рис. 3) встает очень много неизученных вопросов. Вместе с тем можно предположить, что одним из вариантов "прорывного" высокоэффективного ЛА будет именно такой самолет.

Рассмотрим другое направление. Допустим, что достоинства классической схемы компоновки транспортного самолета подошли к пределу, при котором несущие свойства системы крыла, фюзеляжа, оперения и силовой установки зачастую противопоставляются друг другу и не решают единой проектной задачи. В этом случае для дальнейшего повышения технико-экономической эффективности необходима новая аэродинамическая схема, где уровень противоречия между взаимоисключающими факторами существенно снижен.

В качестве примера приведем аэродинамическую компоновку перспективного легкого самолета-амфибии S-2 "Касатка" (рис. 4). Компоновка этого ЛА выполнена по нетрадиционной схеме замкнутого крыла с несущим фюзеляжем.

Особенностью самолета является компоновка силовой установки по схеме винт в кольце. Такая компоновка позволяет создать чистую аэродинамическую форму с минимальными уровнями вибрации и акустического шума в салоне. За счет перспективной аэродинамической схемы обеспечиваются высокий уровень качества ($K_{\max} = 24$), а также лучший на 20 % коэффициент по полезной нагрузке и большая дальность полета.

Аэродинамическая компоновка самолета с замкнутым крылом основана на нетрадиционном интегральном подходе к проектированию летательных аппаратов. Другим примером нетрадиционного проектирова-

ния самолетов является семейство самолетов М60. Разработанная концепция самолета с несущим фюзеляжем и верхним расположением двигателей базируется на принципиально новой аэродинамической схеме.

Одним из сложных и малоизученных вопросов при создании высокоэффективного самолета является его размерность. Увеличение размерности (как у Боинга 747 и, возможно, А-380) является удачным решением возникших транспортных проблем.

Таким образом, при создании высокоэффективного самолета необходимо провести ряд дополнительных исследований, которые позволили бы сформулировать технические требования к такому ЛА. Самолет — только часть сложной авиационной системы, включающей наземное обслуживание. Повышение эффективности такой системы следует искать и в других областях, например, создавая авиационные двигатели и конструкции, не нуждающиеся в техническом обслуживании. Здесь, вероятно, сыграет большую роль обработка с ис-

пользованием нанотехнологий как металлических элементов конструкции в целях уменьшения коррозии, износа, так и композитных углеродных и керамических материалов.

Список литературы

1. **Проблемы** создания перспективной авиационно-космической техники. М.: Физматлит. ЦАГИ, 2005.
2. **Кашафутдинов С.Т.** Основные проблемы создания сверхзвукового бизнес-самолета (Обзор литературы) // Новосибирск: Изд. СибНИА. 2004.
3. **Булычев М.Г.** Анализ целесообразности решения проблемы машущего полета // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2004. № 10. С. 50–54.
4. **Семёнов В.Н.** Адаптация замкнутого крыла самолета к режиму полета с использованием интеллектуальных устройств. Жуковский: Изд. ЦАГИ.
5. **Буланов И.М.** Композиционные материалы — основа летательных аппаратов XXI века // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2004. № 3. С. 14–21.

Информация

11 декабря 2006 г. состоялось заседание президиума редакционной коллегии — редакционного совета нашего журнала. В заседании приняли участие ученые — академики и члены-корреспонденты РАН, руководители и ведущие специалисты крупнейших аэрокосмических предприятий, научно-исследовательских институтов и вузов из Москвы и Московской области, Самары и Новосибирска, летчики-космонавты.

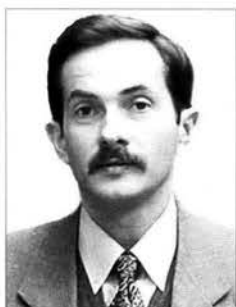
Участники заседания заинтересованно и всесторонне обсудили работу редакции. Были отмечены высокий уровень авторского состава и публикуемых в журнале материалов. Подтверждение этому — тот факт, что "Полет" сохранен в перечне журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук после проведенного Высшей аттестационной комиссией значительного сокращения этого перечня.

Отмечалось значительное расширение географии публикуемых в журнале материалов: напечатаны статьи, поступившие из Москвы и Санкт-Петербурга, Жуковского и Юбилейного, Королева и Казани, Самары и Рыбинска, Новосибирска и Оренбурга, Ростова-на-Дону и Воронежа, Киева и Минска.

Был высказан ряд интересных предложений по дальнейшему повышению качества и актуальности публикуемых материалов, расширению авторского коллектива, привлечению публикаций молодых специалистов. Была признана интересной и очень полезной такая форма работы редакции, как выпуск специальных номеров журнала, посвященных выдающимся событиям в области авиационной и ракетно-космической техники.



МАРКОВ
Александр Викторович —
начальник отделения
РКК "Энергия"
им. С.П. Королева



СОРОКИН
Игорь Викторович —
заместитель начальника
отделения РКК "Энергия"
им. С.П. Королева,
доктор техн. наук

Наследие С.П. Королева и современные проблемы целевого использования пилотируемых космических комплексов

А.В. Марков, И.В. Сорокин

С позиции продолжения традиций отечественной пилотируемой космонавтики, основанных на творческом наследии С.П. Королева, дана оценка современного состояния, проблем и перспектив целевого использования пилотируемых космических комплексов.

A.V. Markov, I.V. Sorokin. Heritage Of S.P. Korolev And Present-day Problems Of Manned Space Complexes Utilization

From the position of continuation of the national cosmonautic traditions which based on S.P. Korolev's creative heritage an estimation of a current status, problems, and prospective of manned space complexes utilization is given.

В преддверии юбилейного для космонавтики 2007 года — года 100-летия со дня рождения С.П. Королева, 150-летия со дня рождения К.Э. Циолковского и 50-летия со дня запуска первого спутника — хотелось бы беспристрастно, насколько это возможно, проанализировать состояние и проблемы целевого использования современных пилотируемых космических комплексов и оценить, как распорядились продолжатели дела С.П. Королева его основным творческим наследием — идеями и конкретными техническими решениями, обеспечивающими полет и длительное пребывание человека в космическом пространстве.

Как известно из истории отечественной космонавтики, тематические направления по разработке и изготовлению ракет-носителей, спутников связи, автоматических космических аппаратов для решения задач разведки и межпланетных исследований С.П. Королев передал в другие организации. Для продолжения исследований он откомандировал лучших специалистов. Единственное направление, головную роль по которому он сохранил за ОКБ-1 и которому придавал решающее значение в деле освоения космического пространства, — это пилотируемая космонавтика: "Одной из самых главных задач является осуществление полета человека в космос с исследовательскими целями. Как бы ни были совершенны приборы и аппаратура на автоматических станциях, все же ничто не может заменить разум пытливого исследователя..." [1, с. 425].

Основной задачей статьи является анализ современного состояния и проблем целевого использования пилотируемых космических комплексов (ПКК) на основе идей Сергея Павловича, высказанных им в первой половине 1960-х гг.

Несмотря на серьезные проблемы и аварии, которые возникали в процессе создания и эксплуатации практически всех существовавших ПКК, мировая научная пресса свидетельствует, что на их борту получены результаты исключительной ценности, внесшие принципиальный вклад в сокровищницу знаний человечества. Продолжающееся в настоящее время строительство Международной космической станции (МКС) является наиболее крупномасштабным международным проектом создания ПКК. Сам

факт реализации программы МКС подтверждает востребованность данного класса космических аппаратов, а также актуальность анализа состояния их функционирования и перспектив применения.

Становление направлений целевого использования ПКК. Историко-технический анализ, проведенный на основе данных обо всех известных космических кораблях и станциях [2], дает возможность выделить три основных этапа освоения человеком околоземного космического пространства. Каждый из них можно охарактеризовать определенными показателями эффективности, представленными в таблице:

Основные достигнутые характеристические показатели ПКК

Показатели	Этап 1 (1961–1970 гг.)	Этап 2 (1971–1985 гг.)	Этап 3 (с 1986 г.)
Число одновременно работающих на ПКК человек	3	5	12
Длительность непрерывной работы космонавтов в космосе, сут	18	236	437
Масса ПКК, т	13	90	286
Масса комплекса научной (целевой) аппаратуры, т	0,25	11,3	11,5

накопление знаний об окружающем пространстве, создание технологий пилотируемого полета – одиночные и групповые полеты пилотируемых космических кораблей в 1961–1970 гг.;

проведение поисковых (экспериментальных) исследований в различных областях науки, формирование направлений целевого использования и дальнейшее совершенствование технологий пилотируемого полета – создание одномодульных орбитальных станций серии "Салют" и "Скайлэб" в 1971–1985 гг.;

переход к практическому использованию (промышленному освоению) космоса – строительство и эксплуатация многомодульных долговременных орбитальных станций "Мир" и МКС начиная с 1986 г. по настоящее время.

Практически по всем основным показателям каждый последующий ПКК обладал улучшенными характеристиками. Это подтверждается диаграммами, характеризующими длительность полета всех прошедших летные испытания комплексов (рис. 1).

Еще во время первых пилотируемых полетов были сформированы два прикладных направления целевого использования КА, ставших впоследствии обязательными на всех ПКК:

уточнение условий эксплуатации космических аппаратов и данных о действующих на человека факторах космического пространства;

изучение возможностей человеческого организма по адаптации к условиям длительного космического полета, совершенствование методов и средств жизнеобеспечения экипажей.

Осуществление первой пилотируемой стыковки корабля "Джемини-8" с мишенью "Аджена" в 1966 г. и первой автоматической стыковки кораблей-спутников "Космос-186" и "Космос-188" в 1967 г. позволило перейти к созданию полноценных космических комплексов на орбите Земли массой в

десятки тонн. Фактически это стало началом еще одного направления работ на ПКК – сборки и отработки в реальных условиях перспективных элементов и систем космической техники для обеспечения будущих пилотируемых полетов, включая межпланетные экспедиции. Основы этого направления были заложены С.П. Королевым, который считал, что "одной из важнейших задач является проблема встречи в кос-

мосе с другим кораблем-спутником либо с орбитальной станцией, система подхода и стыковки их на орбите..." [1, с. 434].

Разработка и реализация программ полета первых одномодульных орбитальных станций велась уже с учетом приоритета целевых (научных) исследований. Два фактора космической среды – отсутствие атмосферы и невесомость (микрогравитация) – стали оп-

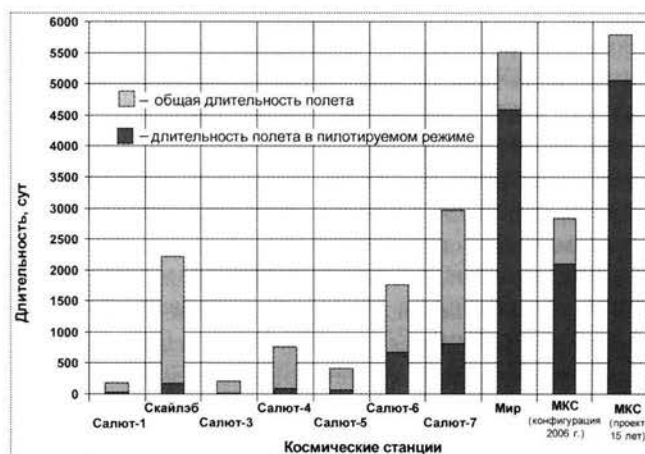


Рис. 1. Длительность полета ПКК

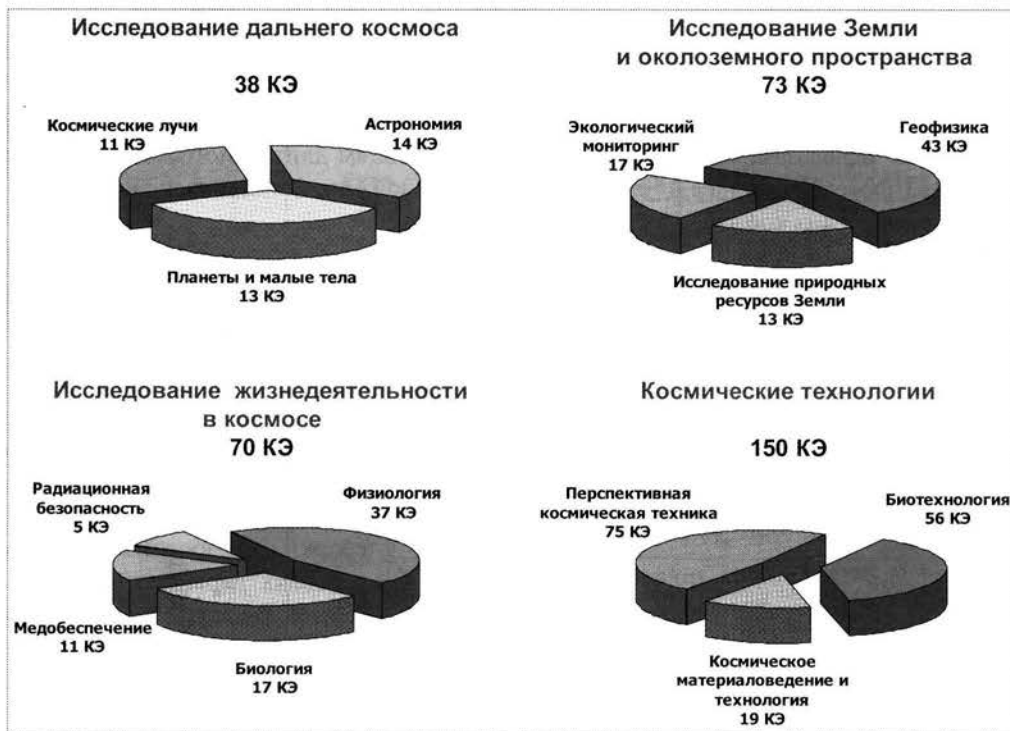


Рис. 2. Долгосрочная программа научных исследований на РС МКС

ределяющими при формировании программ научных исследований. Именно в связи с этим комплексы научной аппаратуры на станциях серии "Салют" и "Скайлэб" в основном состояли (помимо систем для медицинских и биологических экспериментов) из приборов для астрофизических исследований, для изучения Солнца и Земли. Кроме того, на этих станциях были сделаны первые шаги в области космической технологии и материаловедения.

Создание многомодульной станции "Мир" существенно расширило возможности выполнения программ исследований в различных областях науки и техники. Практически все направления исследований, по которым мировое научное сообщество уже проводит или намеревается проводить космические эксперименты (КЭ) на МКС, были сформированы при проведении исследований на станции "Мир":

- исследование дальнего космоса;
- исследование Земли и околоземного пространства;
- исследование жизнедеятельности в космосе;
- космические технологии.

Они легли в основу и российской долгосрочной научной программы на МКС, сформированной головными институтами РАН и Роскосмоса (рис. 2).

После длительных и жарких дискуссий специалистов о том, что более эффективно — пилотируемая или беспилотная космонавтика, — к концу XX века в мире был достигнут консенсус: и то и другое необходимо; и то и другое дополняет и обогащает друг друга. Ни бес-

примерный пятнадцатилетний полет станции "Мир", ни рекордный по значимости научных результатов и продолжительности их получения полет космического телескопа "Хаббл", ни многие другие достижения в космосе не были бы возможны без непосредственного приложения интеллекта и рук космонавтов и астронавтов.

Практика показала, что, например, изучение Земли и Вселенной с околоземной орбиты, иные длительные и точные дистанционные мониторинговые исследования эффективнее проводить с использованием автоматических КА. На пилотируемых же комплексах в первую очередь следует выполнять отработку новых приборов и методов исследований с определением перспективы их совершенствования и применения на специализированных аппаратах.

Итак, в настоящее время можно выделить следующие приоритетные направления целевого использования современных ПКК:

- выполнение программ фундаментальных и прикладных научных исследований и экспериментов; непосредственное получение образцов высокотехнологичной и наукоемкой продукции на орбите;
- отработка новых типов целевой аппаратуры и методов ее эффективного применения на пилотируемых и автоматических КА;
- создание научно-технического и конструкторского заделов для реализации перспективных проектов исследования Луны и Марса;

• оказание высокотехнологичных и рекламных услуг в космосе, включая полеты космических туристов; реализация образовательных и гуманитарных проектов.

Партнерами по программе Международной космической станции уже реально начато проведение работ в этих направлениях. Но каковы проблемы, ограничения, наконец, перспективы этого процесса? Попробуем далее ответить на эти вопросы.

Проектный срок эксплуатации МКС будет ограничен 2018–2020 годами [3]. США совместно с партнерами планируют завершить сборку и приступить к полномасштабному целевому использованию американского сегмента станции в 2010 г.

Россия в соответствии с Федеральной космической программой на 2006–2015 гг., в свою очередь, активизировала работы по завершению строительства российского сегмента (РС). Ближайший крупный этап — введение в состав РС МКС многоцелевого лабораторного модуля в 2009 г. Из-за прекращения эксплуатации кораблей "Шаттл" в 2010 г. Россия вынуждена отказаться от создания научно-энергетического модуля, спроектированного для выведения в отсеке полезного груза многоразового корабля. Следующий шаг — исследовательский модуль (возможно, несколько модулей), который планируется доставить к МКС после 2011 г.

Вместе с тем МКС существует с 1998 г., а 2 ноября 2005 г. был преодолен рубеж ее пятилетней непрерывной эксплуатации в пилотируемом режиме. Существует обширный материал для размышлений о сделанном на станции, о ее перспективах и, наконец, об эффективности целевого использования [4].

Осуществление научных исследований на МКС. Шестой год пилотируемого полета МКС не изменил сложившихся приоритетов в направлениях исследований. В каждом из направлений на обоих сегментах МКС за 2000–2006 гг. были проведены исследования: медицина и биология — 104 эксперимента, биотехнология — 59, техника — 44, образовательные программы — 29, технология — 27, геофизика — 9, исследование природных ресурсов Земли и экологический мониторинг — 6.

Хотелось бы подчеркнуть ярко проявившуюся в последнее десятилетие особенность современной космонавтики — ее коммерциализацию, которая, например, для российского сегмента МКС выражается в предоставлении заказчикам довольно широкого спектра высокотехнологичных услуг, таких как коммерческие полеты в космос в рамках экспедиций посещения, проведение разного рода экспериментов, рекламных и специальных акций на контрактной основе.

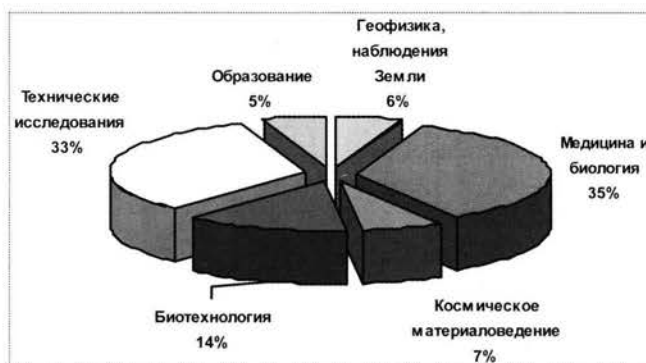


Рис. 3. Состав комплекса целевых нагрузок на РС МКС (2006 г.)

Отношение в обществе к этой тенденции неоднозначно. У нее есть горячие сторонники и убежденные противники. Последним уместно напомнить высказывание С.П. Королева: "Появятся и многоместные корабли-спутники экскурсионного назначения. Любопытные космические туристы в воскресный день смогут обстоятельно осмотреть с них весь земной шар. Пусть это сегодня еще фантазия, но вспомним еще раз, что в нашей жизни действительность иногда обгоняет самую смелую мечту..." [1, с. 425].

Сегодня полеты космических туристов благодаря активной деятельности РКК "Энергия" становятся областью стабильного бизнеса и новым направлением целевого использования ПКК.

Как было отмечено, исследования, по крайней мере, в двух областях проводятся на всех без исключения ПКК. Это эксперименты по уточнению условий эксплуатации космических аппаратов с получением данных о действующих на человека факторах космического пространства, а также медико-биологические исследования.

Приведенный на рис. 3 состав комплекса целевых нагрузок на РС МКС, увеличившийся в 2000–2006 гг. с 300 кг до 1,7 т, подтверждает доминирование медико-биологической аппаратуры и приборов для технических экспериментов (суммарно почти 70 %). Вместе с тем имеются основания утверждать, что стратегия эксплуатации МКС разработана и реализуется в согласии с приведенной выше классификацией направлений целевого использования ПКК, хотя и не в полном объеме из-за ряда проблем, анализу которых, в частности, посвящена данная статья.

Проблемы целевого использования ПКК. Несмотря на постоянное улучшение тактико-технических характеристик ПКК (рис. 4, 5), основной проблемой целевого использования первых одномодульных орбитальных станций было ограничение по бортовым ресурсам, предоставляемым для выполнения целевых работ, не свя-

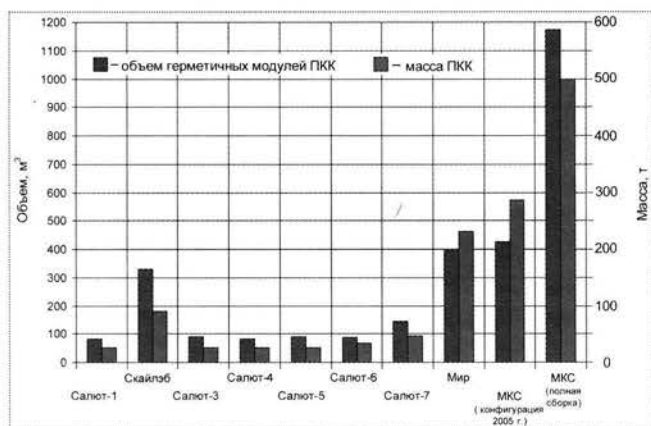


Рис. 4. Изменение объема герметичных модулей и массы ПКК

занных с непосредственным обеспечением полета. Это объемы для размещения и хранения научной аппаратуры и оборудования внутри станций и число рабочих мест на их внешней поверхности; параметры грузопотока по доставке на борт аппаратуры и расходных материалов, а также возврата результатов исследований на Землю; уровень энерговооруженности станций; пропускная способность каналов управления и связи "борт—Земля"; время экипажа, выделяемое для работы с научной аппаратурой и др.

Казалось бы, при стойкой тенденции к улучшению характеристик ПКК проблема нехватки ресурсов для целевого использования должна успешно решаться на многомодульных комплексах ("Мир" и МКС). Какова же реальная ситуация?

Важным позитивным фактором, способствующим повышению эффективности целевого использования многомодульных ПКК, стал накопленный ранее опыт оперативного выполнения ремонтно-профилактических работ, позволивший устранять в ходе полета самые сложные отказы и ликвидировать аварии. Использование системы регулярного транспортно-технического снабжения ПКК на базе автоматических грузовых кораблей типа "Прогресс" сыграло не менее важную роль в становлении технологии непрерывной длительной эксплуатации станций нового поколения. Эта система подтвердила свою адаптивность к любым изменениям программы работ на ПКК и продемонстрировала высокую эффективность. Если на станцию "Салют-6" за почти пять лет полета было доставлено 22 т грузов, то на станцию "Мир" за 15 лет — 170 т, а на РС МКС за первые пять лет — уже 72 т.

Еще один позитивный фактор — применение метода формирования программ полета станций, основанного

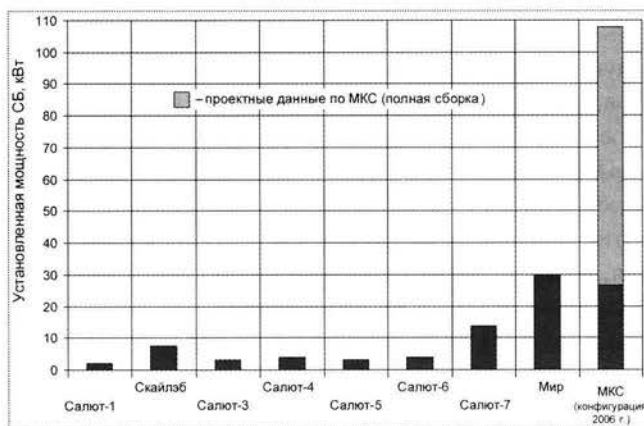


Рис. 5. Изменение установленной мощности солнечных батарей (СБ) на станциях

на сочетании основных экспедиций, обеспечивающих постоянное присутствие экипажа на борту, с более короткими — целевыми — экспедициями посещения.

Все это позволило снизить уровень дефицитности бортовых ресурсов. Однако полностью избавиться от этой проблемы пока не удалось. Кроме того, при поэтапном создании многомодульных комплексов появилась необходимость совмещения процесса их строительства с процессом целевого использования.

Известно, что концепция модульного построения ПКК позволяет обеспечивать его поэтапное и гибкое развитие исходя из выделенного для проведения работы финансирования и технической готовности материальной части. Вместе с тем допускается возможность отклонения от первоначального проекта. Формирование окончательной конфигурации первого многомодульного комплекса "Мир" растянулось на десять лет вместо трех по проекту. Это, безусловно, явилось одной из причин спада интенсивности целевого использования ОК "Мир" в течение почти пяти лет — с 1989 по 1994 г.

Проектом МКС (версия 1996 г.) предусматривалось завершение строительства комплекса, эксплуатируемого постоянным экипажем из трех человек, в течение пяти лет после запуска служебного модуля в 2000 г. Затем планировалось перейти к десятилетнему этапу эксплуатации с экипажем из шести человек. Но катастрофа "Колумбии" внесла в график развертывания МКС существенные коррективы, и в течение трех лет до полета STS-121 в июле 2006 г. Международная космическая станция обслуживалась экипажем из двух человек. Разумеется, это не могло не сказаться на эффективности ее целевого использования.

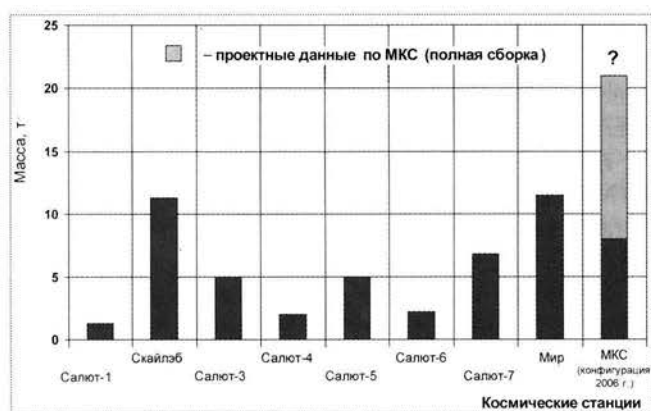


Рис. 6. Масса комплекса научной (целевой) аппаратуры на ПКК

Эффективность научных исследований на ПКК напрямую зависит от состава имеющейся на борту научной аппаратуры и продолжительности ее работы. В свою очередь, научная аппаратура является полезной нагрузкой для космического аппарата и имеет определенную массу. В критериальные зависимости, определяющие затраты на разработку и эксплуатацию ракетных и аэрокосмических систем, масса обычно входит как основной оптимизируемый параметр.

Известно [5], что увеличение массы полезной нагрузки на 1 кг утяжеляет носитель на 40...80 кг, пропорционально массе КА изменяется стоимость его выведения на орбиту и т.п. Поэтому масса комплекса целевых нагрузок характеризует достаточно много проектных и конструкторских параметров ПКК, определяющих возможности его целевого использования. Достигнутые на орбитальных станциях показатели роста массы и количества наименований элементов комплекса научной аппаратуры выглядят скромно (рис. 6, 7) на фоне более динамичных позитивных изменений общих эксплуатационных характеристик ПКК (см. рис. 4–5).

Было бы справедливым предположить, что по мере развития МКС рассматриваемые показатели должны существенно увеличиться для комплекса целевых нагрузок на обоих сегментах. К сожалению, периодические изменения проекта станции, проводящиеся в основном в сторону уменьшения количества модулей, оптимизма не добавляют. Надо признать, что высказывания руководителей NASA и Российской академии наук о низкой научной отдаче МКС на данном этапе осуществления проекта не беспочвенны.

Одной из самых серьезных проблем остается недостаток рабочего времени экипажа на проведение научных экспериментов и исследований. МКС в этом отно-

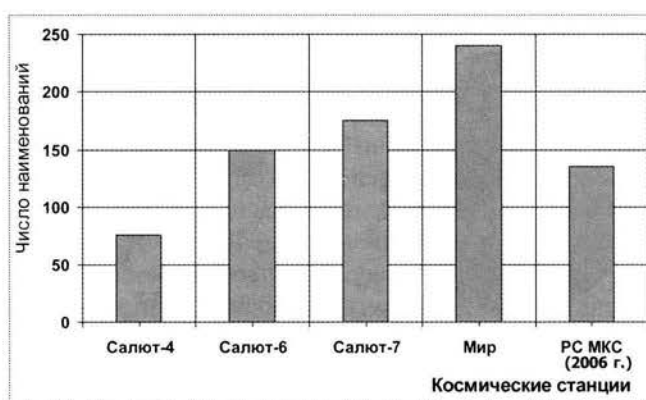


Рис. 7. Число наименований научной аппаратуры на российских ПКК

шении ничем не отличается от своих предшественниц. Только во время экспедиций посещения (8–10 дней через каждые полгода на РС МКС), когда объединенный экипаж станции увеличивается до пяти (с июля 2006 г. — до шести) человек, ситуация существенно меняется к лучшему. Космонавт-исследователь (участник полета) экспедиции посещения по числу проведенных экспериментов за неделю может выполнить полугодовую "норму" члена основного экипажа, основная забота которого — поддержание номинального функционирования служебных систем станции (рис. 8, 9).

Для проведения научных исследований на МКС используется существенно меньше времени экипажа, чем ожидалось, из-за гораздо больших его затрат на работы по обслуживанию станции. Было установлено [6], что каждый член экипажа на служебные операции затрачивает в среднем более 1,9 ч в течение рабочего дня и дополнительно 1,8 ч в день отдыха. Минимальные требования по времени экипажа для выполнения программы целевого использования МКС — 20 ч в не-

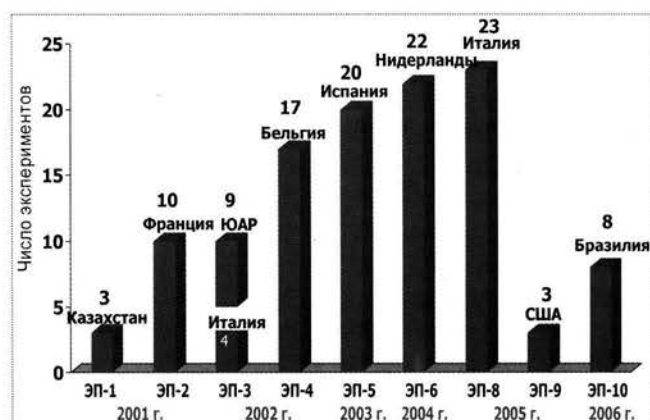


Рис. 8. Выполнение экспериментов в период экспедиций посещения (ЭП) на РС МКС

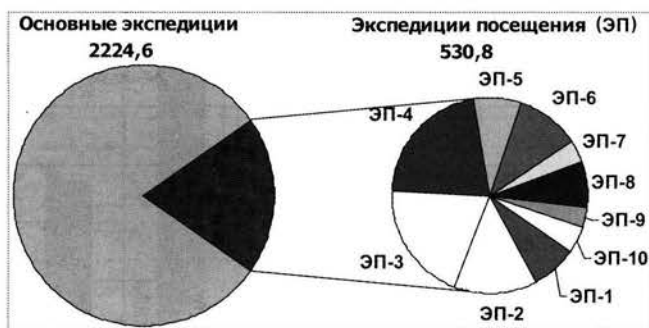


Рис. 9. Соотношения затрат времени экипажей для проведения экспериментов на РС МКС

делю. Однако на практике даже эти требования не удовлетворяются, поскольку работа по научной программе имеет более низкий приоритет, чем служебные операции и мероприятия, связанные с поддержанием здоровья экипажа на требуемом уровне.

В результате время экипажа, выделяемое на работы с полезной нагрузкой, не увеличивается с развитием комплекса, а напротив, имеет тенденцию к уменьшению, фактически не превышая по состоянию на начало 2006 г. (экспедиция МКС-12) в среднем 13...14 ч в неделю. Главная причина — уменьшение численности основного экипажа с трех до двух человек в 2003 г.

Вероятность роста рассматриваемого показателя появилась лишь с включением в состав основного экипажа МКС-13 астронавта ESA Т. Райтера в июле 2006 г. (полет STS-121). Если разработанный NASA график полетов кораблей "Шаттл" до 2010 г. будет выдержан, возможно, время экипажа на целевое использование МКС удастся увеличить до уровня, соответствующего 2002 году. Но как повлияет на этот показатель развитие (значит, усложнение) и одновременно старение самой станции?

При увеличении за первые пять лет полета почти вдвое массы комплекса научной аппаратуры, находя-

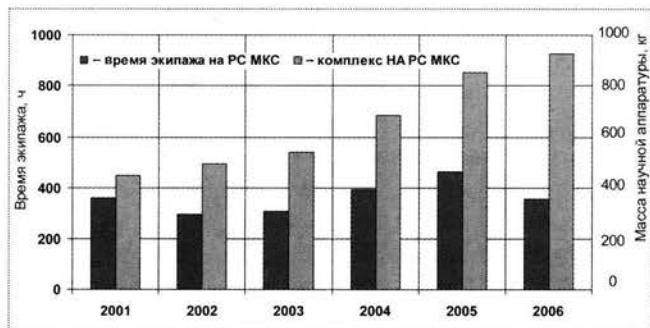


Рис. 10. Соотношение количества бортовой научной аппаратуры и времени экипажа на РС МКС по годам

щейся на борту РС МКС, время, выделяемое для проведения экспериментов, осталось на уровне 2001 г. (рис. 10). При таких условиях эффективность использования научной аппаратуры снижается.

Вообще говоря, эта проблема свойственна не только МКС, она существовала в уже реализованных проектах ПКК, и, видимо, возникнет при эксплуатации многомодульных орбитальных комплексов в будущем.

История космонавтики свидетельствует [2, 6], что время на служебные (бытовые) операции, например, на станции "Скайлэб" увеличилось с запланированной продолжительности 0,75 ч на члена экипажа в день до среднего фактического значения 1,1 ч, а продолжительность незапланированных работ по поддержанию станции в работоспособном состоянии составила около 4 ч (как и на станции "Мир"). Но даже несмотря на эти незапланированные затраты времени, суммарно на "Скайлэбе" каждый член экипажа занимался научными и медицинскими исследованиями 6,1 ч в день, а на МКС — не более 2,5 ч! Можно ли в этом случае говорить, что орбитальный комплекс XXI века более эффективен с точки зрения научной отдачи, чем станция начала 1970-х гг. с такой же численностью экипажа?

Анализ затрат времени экипажей МКС на бортовые операции показал, что в настоящее время все резервы для увеличения времени работы с научной аппаратурой и проведения экспериментов при существующей численности экипажа основных экспедиций исчерпаны. Увеличивать его уже невозможно без нарушения режима труда и отдыха космонавтов.

По мере развития комплекса целевой аппаратуры или усложнения методик работы с ней увеличивается в зависимости от направления исследований и трудоем-

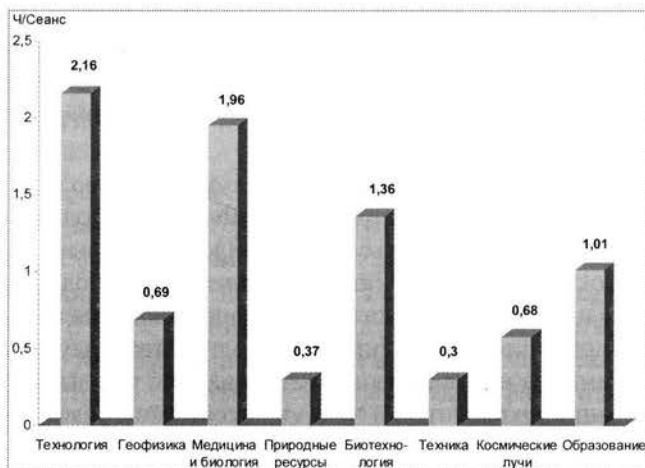


Рис. 11. Средние значения затрат времени экипажа на проведение одного сеанса эксперимента по направлениям исследований за пять лет полета РС МКС

кость одного сеанса эксперимента (рис. 11). Решение этой проблемы, очевидно, связано с повышением эргономичности оборудования, унификацией интерфейсов и процедур обслуживания приборов и систем, а в идеале — с максимальной автоматизацией выполнения рутинных операций. По мнению С.П. Королева, "при работе в космосе должна быть обеспечена совершенная система автоматизации всех операций и процессов с необычайно высокой степенью надежности действия..." [1, с. 430]. Представители королевской школы неоднократно подтверждали свою способность реализовывать этот принцип на деле: технические средства для выполнения таких сложных и трудоемких операций, как стыковка на орбите и дозаправка топливом, изначально проектировались и работают в автоматическом режиме без участия экипажа.

Но радикально решить проблему дефицита времени космонавтов на орбите можно лишь увеличивая число членов экипажа. Для функционирующей станции оно должно быть не менее шести. В различных документах Программы в качестве срока осуществления этого плана чаще всего фигурирует 2009 г.

Из других ограничений, серьезно препятствующих более интенсивному целевому использованию МКС и, как показывает практика, ПКК вообще, нельзя не упомянуть ограничения по энергопотреблению оборудования, пропускной способности каналов передачи информации, массе и объемам возвращаемых с орбиты грузов (результатов экспериментов).

Одной из главных проблем при эксплуатации станции "Мир" был хронический дефицит электроэнергии. Несмотря на то что установленная мощность солнечных батарей (СБ) станции была достаточно велика (более 30 кВт), их взаимное затенение не позволяло обеспечить требуемый приход электроэнергии. На МКС подобная проблема будет решена лишь после развертывания всех четырех пар СБ на американском сегменте (см. рис. 5). В связи с этим в настоящее время на обоих сегментах нет научной аппаратуры, требующей для своего функционирования более 1,5 кВт электроэнергии.

Отсутствие высокопроизводительных каналов связи на российском сегменте, отсутствие российского спутника-ретранслятора также серьезно усложняют целевое использование РС МКС. Постановщики экспериментов имеют сейчас минимальные возможности по оперативному управлению научной аппаратурой, по контролю ее состояния и передаче телеметрической и научной информации на Землю с использованием служебных каналов. Российских исследователей пока выручают средства американского сегмента, но

ограничение развития комплекса целевых нагрузок на РС МКС в такой ситуации очевидно.

В условиях длившегося фактически с 2003 по 2006 г. моратория на полеты корабля "Шаттл" проблема доставки грузов на МКС продолжает быть актуальной для американского сегмента, а проблема возврата результатов космических экспериментов стоит особенно остро для обоих сегментов. Ее причины и способы решения проанализированы в работе [4].

Существует и проблема размещения научной аппаратуры на борту ПКК. На первых орбитальных станциях научные аппаратурные комплексы устанавливались на Земле непосредственно в процессе изготовления изделия и подготовки его к полету. По мере увеличения сроков работы станционных приборов и систем и особенно с началом регулярного транспортно-технического обслуживания станций с помощью грузовых кораблей типа "Прогресс" длительность их полета возросла до 15 лет. В течение такого срока приоритеты научных исследований меняются, а следовательно, необходимо обеспечить возможность замены научной аппаратуры непосредственно в полете. Чем больше привозится новой аппаратуры, тем сложнее ее интегрировать в состав функционирующего ПКК, в том числе просто из-за отсутствия места (установленную на Земле стационарную аппаратуру удалить невозможно).

Автоматически возникает еще одна проблема — неиспользуемое оборудование и укладки накапливаются в местах хранения. Несмотря на применение наиболее передовых методов и средств учета грузов на борту (ежедневно на инвентаризацию уходит не менее получаса рабочего времени экипажа), некоторые укладки, включая результаты экспериментов, могут пропадать, случайно "всплывая на поверхность" через месяцы. Всегда трудно прогнозировать, сколько времени потратит экипаж в таких условиях на поиски нужного элемента оборудования.

Полномасштабное внедрение технологии сменных полезных нагрузок, предусматривающей установку или замену аппаратуры на универсальных рабочих местах, позволит снять проблему дефицита рабочих мест на РС МКС. Такая технология применяется на вновь проектируемых модулях российского сегмента.

Проблемы существуют и в сфере организационно-технического обеспечения полета станции. В первую очередь, это недостаточная научно-техническая и методическая проработка вопросов унификации процедур и алгоритмов формирования этапных научных программ и планирования экспериментов в условиях изменений конфигурации МКС. Последствия — потеря времени на дополнительное согласование циклограмм выполнения операций в ходе полета, трудности при осуществлении широкомасштабных научных ис-



Рис. 12. Причины возникновения нештатных ситуаций при реализации научных программ на РС МКС в 2001–2005 гг.

следований на сегментах МКС в условиях квотирования ресурсов. Основная причина — человеческий фактор в разнообразных (в том числе бюрократических) проявлениях. Поскольку человек рассматривается в этом случае как элемент большой системы, связанной с МКС, то и разрешать этот блок проблем возможно лишь системными методами на всех ее иерархических уровнях.

Существуют также десятки частных ограничений и проблем, влияющих на эффективность целевого использования ПКК, хорошо известных специалистам по разработке программы полета и его планированию. Это, например, ограничения при проведении астрономических наблюдений, связанные с обеспечением видимости исследуемого объекта с МКС, его положением относительно станции, Солнца, Луны; ограничения на боковое удаление исследуемого объекта от трассы полета МКС при наблюдениях Земли, светотеневая и метеорологическая обстановка в исследуемом районе.

Для экспериментов в области материаловедения, нано- и биотехнологии необходимо обеспечить требуемый уровень микроускорений на борту. Для отдельных экспериментов существуют специфические ограничения по времени и продолжительности измерений (время года, суток), периодичности проведения сеансов и др. Для выявления и учета таких ограничений используется комплекс математических моделей бортовых систем и конструкции МКС, физических условий на борту, действий экипажа и функционирования наземного контура управления МКС [7].

Традиционно факторами, снижающими эффективность любой большой системы, являются отказы техники и ошибки человека. Целевое использование МКС также сопровождается отказами научной аппаратуры и ошибками специалистов на Земле и в космосе. Данные по нештатным ситуациям в процессе целевого использования российского сегмента МКС

(рис. 12) позволяют сделать вывод о существенном влиянии технического состояния бортовых служебных систем на работу научной аппаратуры в силу все более возрастающей их интеграции на современных ПКК.

Анализируя проблемы, ограничивающие полноту целевого использования ПКК, нельзя не отметить обязательность мониторинга текущего состояния и прогнозирования развития ПКК как системы на проектном уровне на каждом этапе ее функционирования. Еще во время полета орбитального комплекса "Мир" назрела необходимость синтеза традиционной календарной стратегии эксплуатации современных многомодульных ПКК со своей противоположностью — стратегией эксплуатации по фактическому состоянию комплекса (реализация принципа управления с обратной связью на стратегическом уровне).

Прогнозирование состояния МКС в заданные периоды времени, оценка возможности выполнения в эти периоды возложенных на станцию задач, включая целевые, являются необходимыми для повышения эффективности проведения исследований на борту, поскольку позволяют снизить общие затраты за счет сокращения финансовой поддержки работ (экспериментов), реализовать которые просто не будет возможности.

Важность использования такого подхода на практике характеризует следующий пример. В 1997 г. была разработана (на основе календарной стратегии) и утверждена программа научных исследований на станции "Мир" в период 1997–1999 гг., включавшая 214 экспериментов. Проведенный в конце 1999 г. в РКК "Энергия" анализ хода ее выполнения показал, что фактически было реализовано только 136 экспериментов (62 % плана). Однако по ряду финансируемых работ, "недошедших до борта" в силу разных причин, был создан большой научно-технический задел и затрачены немалые средства. Это лишь подтверждает необходимость постоянного мониторинга процесса строительства и целевого использования МКС для улучшения показателей ее эффективности.

В конечном итоге совокупность проблем, снижающих эффективность целевого использования ПКК, можно свести к двум основным группам по степени их общности для различных генераций орбитальных комплексов и возможным способам решения:

- проблемы, присущие всем ПКК и приводящие в основном к дефициту времени экипажа на выполнение целевых операций, такие как существующий на любом пилотируемом КА приоритет служебных операций, связанных, прежде всего, с обеспечением безо-

пасности экипажа; преодоление нештатных ситуаций (отказов систем и агрегатов, отклонений от программы полета);

- проблемы, присущие современным многомодульным ПКС, такие как периодические изменения (уточнения) конфигурации ПКС, совмещение целевого использования с процессом строительства; ограниченность бортовых ресурсов, необходимых для работы научной аппаратуры, возникающая в результате несоответствия фактических темпов строительства ПКС плановым; многоплановость исследований, требующих разных, зачастую несовместимых с точки зрения эксплуатации комплекса условий проведения и приводящих к конфликту планирования операций.

Первая группа проблем решается только дальнейшим совершенствованием космических средств в целом и станционных систем ПКС в частности, повышением их надежности, тщательным накоплением и использованием опыта длительных пилотируемых полетов. Такой подход — это, по существу, реализация королёвского принципа, выраженного следующей фразой [1, с. 425]: "О полете человека много говорят, пишут, делают прогнозы, но задача советской науки состоит в том, чтобы обеспечить надежный полет и, безусловно, гарантированное возвращение на Землю советского человека из космического полета. Нам чужды рекордсменство и легкомысленность в этом вопросе...".

Решение проблем второй группы во многом зависит от системности, рациональности планирования процесса создания и целевого использования ПКС. Осознание (с последующим обязательным воплощением в жизнь) разработчиками комплексов и программ их эксплуатации необходимости сбалансированного совмещения процессов строительства ПКС и его целевого использования в условиях разного рода ресурсных ограничений является существенным фактором на пути повышения эффективности рассматриваемой системы. Подтверждением того, что этот фактор уже "работает", можно считать практически состоявшийся синтез различных стратегий планирования процесса целевого использования МКС, широкое применение методов математического моделирования для статусного прогнозирования параметров комплекса в заданные периоды времени с учетом выполнения программ целевых исследований. Уже сейчас это позволяет перейти к постоянному мониторингу состояния поэтапно создаваемых сегментов МКС, а в перспективе — к внедрению механизмов комплексного оценивания текущего состояния проекта на основе определенных заказчиками показателей эффективности.

Итак, понимание того, как решать рассмотренные проблемы для МКС, существует у создателей обеих ее сегментов. Прделана серьезная аналитическая и практическая работа по выявлению и устранению слабых мест системы эксплуатации комплекса и в конечном счете достижению стабильного роста показателя эффективности его эксплуатации.

В последние годы новый импульс развития получили такие направления в освоении космического пространства, как пилотируемые исследования Луны, Марса, разработка их ресурсов, отработка новых технологий сборки больших межорбитальных КА и межпланетных экспедиционных комплексов. В связи с этим необходимо дальнейшее совершенствование орбитальных пилотируемых комплексов как своего рода точки опоры для новых разработок, призванных обеспечить следующий шаг человека в космос, как порта для дальних космических плаваний. Логика развития ракетно-космической техники вновь находится в полном согласии с методикой освоения космоса, предложенной С.П. Королевым в начале 1960-х гг. [1, с. 451]: "Создание тяжелой орбитальной станции есть необходимый этап для длительных полетов в космическом пространстве, так как здесь будут отрабатываться у Земли (т.е. легко доступны с Земли) люди и вся техника. Это важный методический шаг, без которого не пройти".

Список литературы

1. **Творческое** наследие академика Сергея Павловича Королева. Избранные труды и материалы / под общ. ред. акад. М.В. Келдыша. М.: Наука, 1980. 591 с.
2. **Мировая** пилотируемая космонавтика. История. Техника. Люди / под ред. Ю.М. Батурина. М.: Изд-во "РТСофт", 2005. 752 с.
3. **Архив** новостей сайта журнала "Новости космонавтики" <http://www.novostikosmonavtiki.ru/content/z14.11.05.html>.
4. **Марков А.В., Сорокин И.В.** Научные исследования на МКС // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2006. № 3. С. 13–23.
5. **Малышев Г.В., Блейх Х.С., Зернов В.И.** Проектирование автоматических космических аппаратов. Вероятностные методы анализа. М.: Машиностроение, 1982. 152 с.
6. **Russell J.F., Klans D.M., Mosher T.J.** Applying analysis of International Space Station crew-time utilization to mission design // AIAA Journal of Spacecraft and Rockets. Vol. 43, No. 1, Jan.–Febr. 2006. P. 130–136.
7. **Брюханов Н.А., Беляев М.Ю.** Математическое моделирование при создании и эксплуатации орбитальных комплексов // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2005. № 8. С. 3–9.



СОЛОМКО
Юрий Михайлович — директор Государственного Мемориального музея космонавтики, заслуженный работник культуры Российской Федерации



КОСТИНА
Юлия Викторовна — заведующая отделом научно-просветительской работы Государственного Мемориального музея космонавтики

Мемориальный музей космонавтики: вчера, сегодня, завтра

Ю.М. Соломко, Ю.В. Костина

Мемориальный музей космонавтики и его филиал — Мемориальный Дом-музей академика С.П. Королева — широко известны в нашей стране и за рубежом. Историй создания музея, его настоящему дню и перспективам развития посвящена эта статья. Показана роль С.П. Королева в организации музея космонавтики.

Yu.M. Solomko, Yu.V. Kostina. The Memorial Museum Of Cosmonautics: Yesterday, Today And Tomorrow

The memorial museum of cosmonautics and its affiliated office, also known as the Memorial Museum and House of Academician Sergei P. Korolev, are well-renowned in Russia and abroad. The article is devoted to the history of the museum, its present day and future prospects. Also, the outstanding role of S.P. Korolev in the establishment of the museum is emphasized.

Космическая эра для землян началась по московскому времени — 4 октября 1957 г. запуском первого искусственного спутника Земли.

9 марта 1958 г. в газете "Известия" было объявлено о Всесоюзном открытом конкурсе на лучший проект обелиска в честь этого эпохального события. К августу 1958 г. поступило более 350 схем, расчетов, чертежей, макетов из многих городов Советского Союза и из-за рубежа. Они экспонировались в Центральном выставочном зале Москвы — Манеже. Первую премию жюри присудило проекту под названием "Народ-созидатель" архитекторов М. Барща, А. Колчина и скульптора А. Файдыша-Крандиевского. В октябре 1959 г. проект был утвержден. В марте 1960 г. было утверждено проектное задание на монумент, получивший название "Покорителям космоса".

С самого начала к созданию памятника с огромным вниманием отнесся Главный конструктор ракетно-космических систем академик С.П. Королев. Он говорил, что монумент должен стать настоящим произведением искусства, в котором документальность сочетается с подлинно художественной образностью. Сергей Павлович интересовался всем: работой над скульптурой К.Э. Циолковского, материалом для облицовки каркаса памятника, горельефными изображениями на боковых стенах монумента.

Первоначально авторы предполагали, что основная часть монумента — символическое изображение огненного шлейфа взлетающей ракеты — должна быть из полупрозрачного дымчатого стекла. По предложению Королева стекло было заменено на "космический" титан. Только благодаря Главному конструктору на одном из предприятий Свердловской области (в настоящее время "Титано-магнийевый комбинат") был выполнен специальный заказ по нанесению уникального титанового покрытия.

С.П. Королев очень интересовался ходом работ над скульптурным портретом К.Э. Циолковского: для него Циолковский был не только великим ученым, но и идеалом преданности человека своему делу. Фотография ученого, отмеченная Сергеем Павловичем, была использована А. Файдышем-Крандиевским при создании памятника.

Скульптор намеревался для создания образа ученого использовать портрет самого Главного конструктора. Но, посетив в очередной раз мастерскую художника и узнав

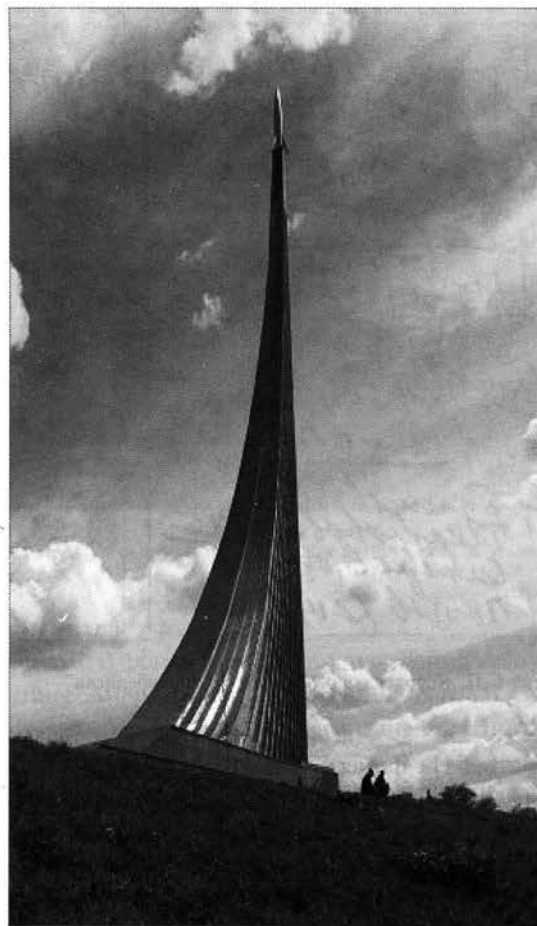
себя в скульптуре, Королев настоял на том, чтобы явное сходство было устранено. Позже Файдыш-Крандиевский крайне сожалел, что не сохранил первоначальный гипсовый вариант.

4 ноября 1964 г. в Москве на проспекте Мира состоялось открытие одного из самых величественных памятников XX века — монумента "Покорителям космоса". На митинге присутствовали члены Правительства страны, президент Академии наук СССР М.В. Келдыш, С.П. Королев, космонавты Ю.А. Гагарин, Г.С. Титов, А.Н. Николаев, П.Р. Попович, В.Ф. Быковский, В.В. Терешкова, В.М. Комаров, К.П. Феоктистов, Б.Б. Егоров, работники космических предприятий. Взору собравшихся предстала взметнувшаяся ввысь серебристая ракета, навечно застывшая в пространстве и времени.

Высотная часть обелиска — это уникальная инженерная конструкция высотой 110 м, угол наклона которой 77°. Масса монумента — 250 т.

Несколько лет спустя, 4 октября 1967 г. перед монументом была открыта Аллея Героев космоса (архитекторы М. Барщ и А. Колчин), на которой установлены памятник академику С.П. Королеву (скульптор А. Файдыш-Крандиевский) и бронзовые бюсты первых космонавтов — Ю.А. Гагарина (скульптор Л. Кербель), В.В. Терешковой (скульптор Г. Постников), В.М. Комарова (скульптор П. Бондаренко), П.И. Беляева и А.А. Леонова (скульптор А. Файдыш-Крандиевский). Позднее здесь были установлены еще два памятника — Теоретику космонавтики, руководителю многих космических программ академику М.В. Келдышу (скульптор Ю. Чернов, 1981 г.) и основоположнику отечественного ракетного двигателестроения В.П. Глушко (скульптор А. Бичугов, 2001 г.).

Замысел создания музея в основании монумента "Покорителям космоса" принадлежит С.П. Королеву. Он сознавал значение ракетно-космической техники в развитии мировой цивилизации и не оставлял без внимания задачу сохранения истории ее создания. Именно по инициативе С.П. Королева в проекте этого монументального сооружения, утвержденном Постановлением Совета Министров СССР № 316 от 10.03.1960 г., заранее предусматривалось использование стилобатной части под строительство помещений для музейных целей. По распоряжению С.П. Королева для курирования строительства музея в ОКБ-1 была создана комиссия во главе с М.К. Тихонравовым (разработчиком первого спутника). В фондах музея хранится записка С.П. Королева "По музею в цоколе обелиска" от сентября 1964 г. Она адресована М.К. Тихонравову с поручением связаться с разработчиками проекта и довести до их сведения имеющиеся замечания и предложения.



Монумент "Покорителям космоса"

Окончательное решение о создании Мемориального музея космонавтики появилось через 7 лет в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 884-292 от 28.09.1967 г., а его открытие состоялось 10 апреля 1981 г.

За прошедшие годы музей стал крупным культурно-просветительным и научно-исследовательским учреждением. Был сформирован научный коллектив, проводящий активную собирательскую, выставочную, просветительскую работу, популяризирующий достижения отечественной космонавтики в нашей стране и за рубежом. Мемориальный музей космонавтики осуществляет творческие связи с предприятиями и организациями отрасли, проводит конференции, конкурсы и фестивали, занимается издательской деятельностью, популяризацией памятников науки и техники.

Каждый, кто приходит в музей, настраивается на космическую волну и ощущает себя человеком космической эры. Экспозиция построена так, словно экскурсанты совершают путешествие в космическом про-

нравов, Б.Е. Черток, хирург А.А. Вишневский, космонавты. Чаше других приезжал Юрий Гагарин.

Особенность собрания Мемориального музея космонавтики в том, что история космонавтики рассматривается не только как развитие ракетно-космической техники, но и как социально-культурное явление в жизни общества, затрагивающее многие сферы деятельности человека.

В настоящее время фонды музея насчитывают более 80 тысяч единиц хранения. Это образцы космической техники, личные вещи деятелей ракетно-космической отрасли, архивные документы, кино- и фотоматериалы, предметы нумизматики, филателии, филокартии и фалеристики, произведения изобразительного и декоративно-прикладного искусства.

Первым предметом, положившим начало коллекции музея, был гипсовый бюст К.Э. Циолковского, приобретенный в 1969 г. у скульптора И.П. Архипова. Он был создан еще при жизни великого ученого. Среди музейных экспонатов — точные копии первых ракет, запущенных в тридцатые годы XX в. небольшой группой энтузиастов под руководством будущего Главного конструктора, подлинные космические аппараты, приборы и оборудование, образцы космической одежды, космического питания. Одно из последних приобретений музея — макет базового блока орбитальной станции "Мир" в натуральную величину.

Документальный фонд музея отражает важнейшие исторические события, запечатленные в "Делах о рекордах" Международной астронавтической Федерации, соглашения между правительствами о сотрудничестве в космосе, заключения Госкомиссий, боржурналы космонавтов, письма, тексты выступлений, стенограммы совещаний и др.

В фондах музея хранится уникальный фотоальбом первой международной выставки проектов межпланетных аппаратов и механизмов, проходившей в Москве в 1927 г., редкие фотографии и негативы первого отряда космонавтов, фотографии Ю.А. Гагарина в первые минуты после приземления. Большое количество материалов связано с пилотируемой космонавтикой. В музее хранятся архивы известных корреспондентов ТАСС и АПН В. Черединцева, А. Моклецова, А. Пушкирева.

Кино- и фонозаписи запечатлели голоса и лица героев космоса, позывные первого искусственного спутника Земли, сообщения о полетах в космос на иностранных языках, воспоминания ветеранов ракетно-космической техники.

Мемориальный музей космонавтики обладает богатой коллекцией живописи и графики. С незапамятных времен фантазия художников была устремлена в небо,



На международной выставке "Космическое путешествие" в Мангейме. Октябрь 2006 г.

к его тайнам. В фондах музея — произведения художников группы "Амаравелла" (создана в 1920-х гг.) Б. Смирнова-Русецкого, П. Фатеева, А. Сардана, С. Шиголева. Картины летчиков-космонавтов А.А. Леонова и В.А. Джанибекова — ценные свидетельства очевидцев, которым открылась Вселенная.

Несомненный интерес представляют многообразные по тематике и художественным формам плакаты, отражающие историю освоения космоса. Художники-плакатысты выразительным языком самого демократичного и массового вида изобразительного искусства по-своему запечатлели освоение Вселенной. Коллекция плакатов музейного собрания насчитывает около 500 наименований, ее хронологические рамки — 1957—2000 гг.

Фонд редкой книги Мемориального музея космонавтики располагает уникальными изданиями по космической тематике. Среди них прижизненные издания К.Э. Циолковского, Ф.А. Цандера, С.П. Королева. Книжный фонд начал формироваться с конца 1960-х гг. и в настоящее время включает книги более 4 тыс. наименований.

Огромное внимание музей уделяет выставочной деятельности. Выставки позволяют оперативно реагировать на требования времени, увеличивать число доступных для широкого зрителя музейных предметов из фондов Мемориального музея космонавтики и других музеев, поддерживать интерес публики к нему. Тематика выставок последних лет чрезвычайно широка и разнообразна: "Профессия — космонавт", "Музей на проспекте Мира", "С.П. Королев. Судьба и время", "Москва космическая", "Конструкторы", "Космический XX век в плакате", "Найди свою звезду!", "Утро космической эры", "Косми-



Мэр Москвы Ю.М. Лужков в Мемориальном музее космонавтики. Пояснения дают директор музея Ю.М. Соломко и летчики-космонавты А.А. Леонов и В.В. Горбатко. Март 2006 г.

ческая одиссея", "Космическое содружество". Это позволяет знакомить посетителей музея с актуальными проблемами развития отечественной космонавтики, научным наследием пионеров освоения космоса, гуманитарными аспектами космонавтики.

Коллекции музея вызывают неизменный интерес у зарубежных зрителей. Они с успехом экспонировались более чем в 50 городах мира: Мельбурне, Тель-Авиве, Майнце, Миннеаполисе, Лионе, Ливерпуле, Бостоне, Сиэтле, Стокгольме, Берлине, Вальядолиде, Брюсселе и др. Каждая внемузейная выставка неповторима, профессионалы-музейщики в партнерстве со специалистами других областей создают реконструкции исторических событий, интерактивные инсталляции, широко применяют новые информационные и компьютерные технологии. Так, в сентябре 2006 г. в Государственном музее науки и техники (г. Мангейм, Германия) была открыта международная выставка "Космическое путешествие", ставшая заметным собы-

тием европейского уровня. Музейные раритеты соседствуют здесь с действующими моделями, на которых посетители могут проводить непростые научные эксперименты. Телевизионные мониторы, большие экраны в режиме "нон-стоп" демонстрируют редкие кадры кинохроники и современные репортажи из Центров подготовки космонавтов, с космодромов и борта Международной космической станции, звуковые инсталляции создают эффект присутствия.

Сегодня перед научным коллективом музея немало сложных проблем. Проводя активную и востребованную обществом деятельность, музей в течение многих лет испытывает нехватку экспозиционных площадей, вынуждающих демонстрировать всего 10...15 % своего собрания. Идеи и проекты реконструкции музея выдвигались еще в 1980-е гг. Так, по хо-

датайству Академии наук СССР и Минобщешаша СССР 27 декабря 1988 г. было принято решение исполкома Моссовета "О реконструкции и развитии Мемориально-



Мэр Москвы Ю.М. Лужков (в центре) в кинозале музея ведет обсуждение проблем реконструкции музейного комплекса. В рабочем президиуме (слева направо) его заместители В.И. Ресин, Л.И. Швецова, Ю.В. Росляк, префект Северо-Восточного административного округа г. Москвы И.Я. Рабер. Март 2006 г.

го музея космонавтики", однако в связи с перестроечными процессами оно не было реализовано.

В марте 2006 г. года мэр Москвы Юрий Михайлович Лужков посетил музей. Состоялся полезный и деловой разговор с участием представителей первого отряда советских космонавтов дважды Героев Советского Союза Павла Романовича Поповича, Алексея Архиповича Леонова, Виктора Васильевича Горбатко, руководителей мэрии и префектуры СВАО г. Москвы.

Столичные власти приняли решение о реконструкции музея, а также о расширении пространства, относящегося к музею, за счет прилегающей территории. Работы в помещениях общей площадью 7500 кв. м проводятся за счет бюджета города, музей дополнительно получит 4500 кв. м полезной площади. К реставрационным работам привлечен А. Колчин, один из соавторов первоначального проекта.

Будущий музейный комплекс будет включать Мемориальный зал на базе существующей экспозиции, зал космической техники, где будут демонстрироваться космические аппараты, зал пилотируемой космонавтики, Галерею космической Славы, посвященную выдающимся деятелям ракетно-космической техники и космонавтам, клуб ветеранов космонавтики, Центр аэро-космического образования им. С.П. Королева, планетарий, выставочный зал для сменных экспозиций.

Изменится и Аллея космонавтов. Здесь установят два больших глобуса — Земли и звездного неба, в центре разместится макет Солнечной системы. Аллею украсят оригинальные световые мачты, другие функциональные и декоративные сооружения. В этот комплекс будет включен новый памятник С.П. Королеву, а бюсты героев космоса перенесут ближе к монументу.

Закончить все работы предполагается к сентябрю 2007 г. Таким образом, в год своего 860-летия Москва получит уникальный музейно-выставочный комплекс, готовый принять москвичей и гостей нашего города.

В настоящее время экспонаты музея можно увидеть в павильоне № 33 Всероссийского выставочного центра. 4 октября, в день 49 годовщины со дня запуска Первого искусственного спутника Земли, здесь состоялось торжественное открытие масштабной вы-



Открытие музейной экспозиции "Россия. Дорога в космос" на ВВЦ. Слева направо: летчик-космонавт П.Р. Попович, академик РАН Б.Е. Черток, летчик-космонавт А.А. Серебров, директор музея Ю.М. Соломко. 4 октября 2006 г.

ставки "Россия. Дорога в космос", рассказывающей о приоритетных достижениях нашей страны в освоении космического пространства.

12 января 2007 г. исполнилось 100 лет со дня рождения С.П. Королева. Этому событию посвящена обширная программа музейных мероприятий, основное из которых — юбилейная выставка "Был веку нужен Королев".

У сотрудников музеев космонавтики — большая благородная миссия. Вот как она определена одним из корифеев космонавтики академиком В.Ф. Уткиным: "...Знакомить народ не столько с достижениями космической науки, техники и промышленности, которые постоянно входят в жизнь и у всех на виду, столько с тем, как создавалась почва для роста этих достижений, с историей коллективов, которые стоят у их истоков, с биографией замечательных людей — творцов космической техники — этого великого чуда XX века".

Следуя возложенной на музей миссии, коллектив Мемориального музея космонавтики находится в постоянном творческом поиске, развиваясь как динамичная, живая структура. Сохраняя, изучая и распространяя знания об истории космонавтики, о жизни и творчестве С.П. Королева, музей служит своему Отечеству.



ПЕНЬКОВ
Евгений Андреевич
ведущий конструктор ОАО
"ОКБ Сухого"

Автоматизация формирования сложных конструктивно-силовых схем

Е.А. Пеньков

Представлен комплекс программных средств по автоматизированному формированию конструктивно-силовых схем самолетов со сложной компоновкой на ранних стадиях проектирования, созданный на основе использования метода конечных элементов.

E.A. Penkov. Automation Of Complicated Structural And Power Circuit Development

The article describes the set of software solutions, based on the finite-element method, to ensure automated generation of structural and power circuits of aircraft with complicated layout at early development stages.

В технологической цепи проектирования конструкции самолета формирование конструктивно-силовой схемы (КСС) является одним из наиболее сложных творческих процессов, многие компоненты которого слабо поддаются формализации. Решения, связанные с конфигурацией КСС, до сих пор зачастую принимаются эвристическими методами, на основании опыта. Точность проводимых в обоснование расчетов обычно невысока и обусловлена использованием упрощенных расчетных моделей (балка, пластина).

Более достоверная оценка качества проектируемой конструкции с использованием точных расчетных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ), производится лишь в конце процесса ее разработки при проведении поверочных расчетов. В такой ситуации велика вероятность того, что уровень ряда показателей качества конструкции может оказаться ниже требуемого.

Попытки устранения недостатков без внесения изменений в конфигурацию конструкции могут приводить к неоправданному завышению массы элементов конструкции и превышению лимита массы самолета. Необходимые же при этом изменения в конфигурации, как правило, влекут за собой изменения в компоновке самолета, а разработка нового компоновочного решения, после того как создан комплект рабочей документации, требует ощутимых дополнительных затрат времени и средств.

Таким образом, для снижения технических рисков и повышения качества и эффективности проектирования при формировании КСС необходима замена эвристических методов оптимальной стратегией, выстроенной с привлечением МКЭ по всему необходимому комплексу работ, которые должны проводиться еще до начала крупномасштабной разработки конструкции, т.е. до начала этапа рабочего проектирования.

Вместе с тем использование метода конечных элементов связано с большой трудоемкостью подготовки и обработки данных и, как следствие, с длительным циклом производства работ. Чтобы в жесткой конкурентной борьбе при ограниченных средствах удовлетворить всем требованиям рынка по срокам и качеству разработки, самым актуальным средством является поиск и разработка формализуемых методов проектирования КСС с автоматизацией всех входящих в него процессов, в первую очередь цикла использования МКЭ.

В настоящее время в новых аэродинамических компоновках с большой степенью интегрированности крыла и фюзеляжа конструктивно-силовые схемы значительно

усложнились как в геометрическом, так и в топологическом плане (наличие нерегулярностей, сравнимых по размерам с размерами конструкции, многоэтажность, многозамкнутость и др.). Значительно выросли и требования к плотности компоновки. Эти факты, а также отсутствие достаточного опыта в создании таких схем указывают на то, что потребность в автоматизированных средствах формирования КСС, основанных на использовании точных универсальных расчетных методов, еще более возрастает.

До недавнего времени все прикладные методики автоматизированного проектирования силовых конструкций с использованием МКЭ ориентировались на стадии, где имеется готовый чертеж или электронный макет изделия (этапы технического и рабочего проектирования), где основные решения по выбору конструктивно-силовой схемы, в частности ее конфигурации, уже приняты [1]. Практически все автоматизированные средства обеспечения конечно-элементных расчетов (препроцессоры и постпроцессоры) идеологически были настроены на проведение поверочных расчетов конструкций (этап рабочего проектирования), где отсутствуют альтернативные варианты конструкции и не требуется внесения оперативных схемных изменений в расчетную модель. И хотя процесс формирования КСС насыщен принятием конструктивно-технологических решений, он оставался практически не обеспеченным соответствующим инструментарием информационных технологий.

Создание программного инструмента, позволяющего автоматизировать задачу синтеза КСС и обеспечить проектировщику интеллектуальную поддержку, оставалось весьма актуальной проблемой. Поэтому в ОАО "ОКБ Сухого" создан программный комплекс для автоматизированного формирования конструктивно-силовых схем высокой геометрической и топологической сложности на основе использования МКЭ на ранних этапах проектирования.

Общие принципы построения программного комплекса. Программный комплекс представляет собой общую технологическую оболочку для решения прикладных задач по формированию КСС, оснащенную набором программных средств (алгоритмов) оптимизации параметров проектируемой конструкции (рис. 1). Такая организация комплекса позволяет формировать набор оптимизационных процедур, необходимых для создания конструкции проектируемого самолета. В его состав могут входить и новые алгоритмы оптимизации конструкции, в которых возникает необходимость при создании того или иного изделия. При этом круг алгоритмов, привлекаемых для решения конкретной задачи, может включать лишь ограниченный набор определенных алгорит-

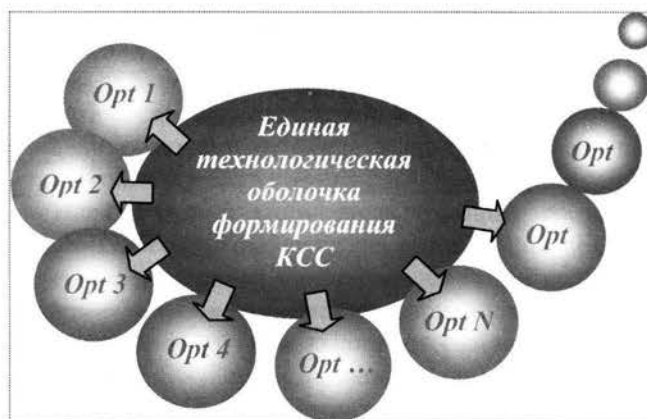


Рис. 1. Схема организации программного комплекса

мов оптимизации из имеющихся в наличии. Однако все задачи оптимизации параметров конструкции решаются с использованием одних и тех же базовых подходов к моделированию конструкции, построению расчетных моделей, с использованием единых алгоритмов прочностных расчетов, единых подходов к обработке информации.

Под автоматизированной *технологической оболочкой* понимается двухкомпонентная система, включающая:

средства описания объектов (моделирующие средства) — структуры данных, позволяющие описывать объект проектирования таким образом, чтобы обеспечивалась возможность автоматизации процесса формирования КСС наиболее полным и наименее трудоемким образом;

исполнительные средства — непосредственно алгоритмы, лежащие в основе программных модулей, и сами программные модули, реализующие процедуры формирования КСС.

Моделирующими средствами определяется тот или иной подход к автоматизации процесса. Например, если весь процесс формирования КСС ограничивается работами, проводимыми за чертежной доской, и все описание проектируемого объекта остается на листе ватмана (в данном случае чертеж выполняет функцию моделирующего средства), то автоматизация остается лишь благим пожеланием. Если доску заменить САД-системой, то автоматизация ограничится лишь чертежными работами. Но процесс формирования КСС наряду с формированием схемных решений содержит еще и параметрический синтез, включающий процедуры расчета на прочность. Если к расчету прочности подключить программный комплекс МКЭ-анализа, то автоматизация затронет и прямой расчет напряженно-деформированного состояния.

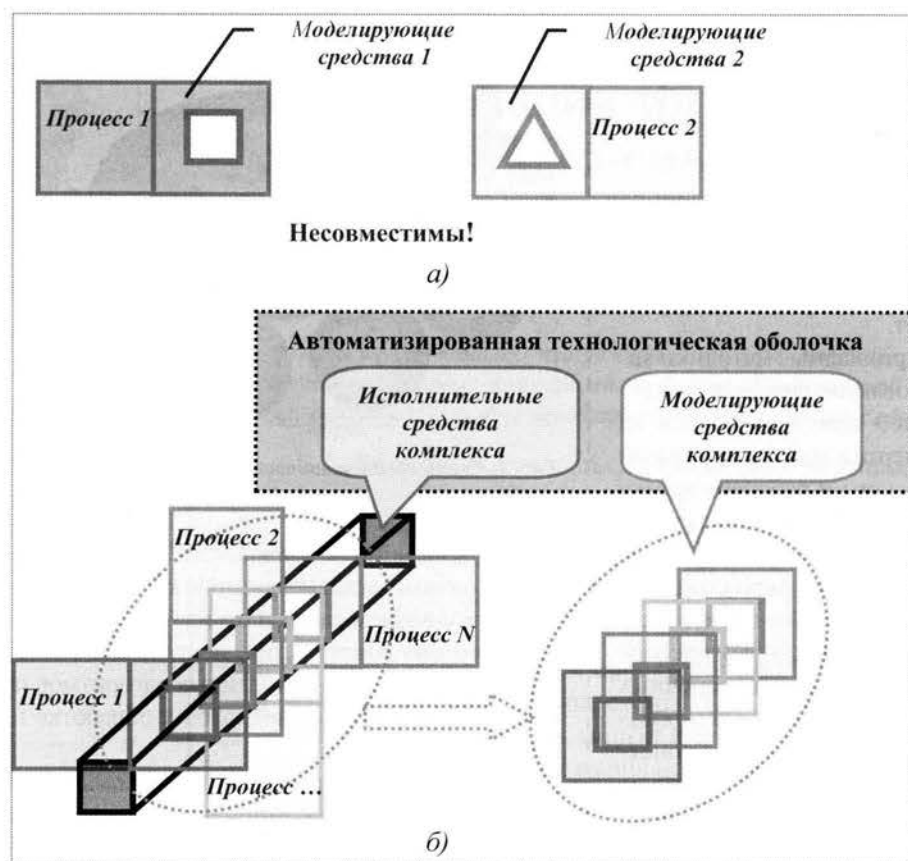


Рис. 2. Сборка автоматизированного программного комплекса

Но и в этом случае нельзя говорить о формировании КСС как о замкнутом, едином, процессе, поскольку в нем не содержится элементов, которые связали бы воедино чертежную и расчетную части. А осуществить это возможно лишь при наличии общности в структурах данных, моделирующих объект разработки (*моделирующих средств*) в обоих программных продуктах, выполняющих как чертежную, так и расчетную функции (необходимое условие для автоматизации).

Процессов, объединяемых в единую автоматизированную технологическую цепочку, в решаемой задаче может быть не два, а существенно больше. Если необходимо условие выполняется, то достаточным условием будет создание соответствующих исполнительных средств — алгоритмов и программ. Схематично это показано на рис. 2. Если конфигурация моделирующих средств в объединяемых процессах различна, то их невозможно напрямую объединить в автоматизированный технологический комплекс (рис. 2, а). Под конфигурацией подразумевается состав и структура моделирующих средств или их элементов.

Для объединения необходимо придать моделирующим средствам объединяемых процессов хотя бы некоторые элементы, обладающие общей конфигурацией (рис. 2, б). Чем больше общности в моделирующих средствах, тем теснее связи, устанавливаемые через исполнительные средства, где качество связей характеризуют полнота автоматизации и степень снижения трудоемкости.

Базовые элементы (процессы) технологической цепи формирования КСС. Под базовыми будем понимать многократно повторяющиеся элементы (процессы) технологического процесса, составляющие его функциональную основу и основу его трудоемкости. Их автоматизация позволила снять большую часть трудоемкости всего технологического процесса. Таковыми в технологической цепи формирования конструктивно-силовой схемы сложной конфигурации являются прямой расчет линейного напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции методом конечных элементов, а также процессы, обеспечивающие его функционирование — подготовка исходной информации для расчета и обработка результатов расчета.

Поскольку в настоящее время имеется достаточно надежных расчетных комплексов, реализующих процедуру расчета линейного НДС конструкций любой сложности, любой из них может быть успешно использован в задаче формирования КСС в качестве *решателя*. Таким образом, основными объектами автоматизации стали процессы подготовки исходной информации для расчета и обработки результатов.

Как известно, в методе конечных элементов исследуемая конструкция моделируется системой конечных элементов, соединенных между собой в определенных точках — узлах модели, а нагрузка, действующая на конструкцию, заменяется системой дискретных сил и моментов, приложенных в узлах. На практике в зависимости от решаемых задач используется конечно-элементная база может быть различной.

Для задачи формирования КСС она может быть ограничена одномерными и двумерными (треугольными и четырехугольными) элементами. Поскольку возникает необходимость исследования как моментного, так и безмоментного (плюского) напряженно-деформированного состояния, то одномерные конечные элементы могут быть как стержневыми, воспринимающими лишь растяжение—сжатие, так и балочными, воспринимающими, кроме того, еще и изгиб. Двумерные конечные элементы могут быть чисто мембранными, воспринимающими растяжение—сжатие и сдвиг в своей плоскости, а также изгибно-мембранными, воспринимающими еще и изгиб из собственной плоскости.

В этом случае для полного определения задачи каждому конечному элементу, моделирующему конструкцию, необходимо задать следующее:

- координаты узлов;
- связь (обход) узлов в элементе;
- тип конечного элемента — информацию, определяющую характер его работы под нагрузкой, т.е. определить набор воспринимаемых им силовых факторов (вид матрицы жесткости элемента);
- значения параметров жесткости конечного элемента (толщину, площадь поперечного сечения, моменты инерции и т.д.) в зависимости от его типа;
- компоненты узловых нагрузок.

При этом информация по конечно-элементной модели (КЭМ) должна быть организована и записана в строгом соответствии с требованиями программы-решателя. Сама по себе эта информация (моделирующие средства), представляющая собой огромные массивы неструктурированной информации, сугубо специфична, громоздка и не может являться основой моделирующих средств оболочки.

Структура как основа моделирующих средств. Одним из основных моделирующих средств в задаче формирования КСС является структура, определяющая внутренний состав объекта проектирования и способы соединения различных структурных звеньев (звеньев конструкции) между собой в единое целое.

Идея структуризации моделирующих средств в практике метода конечных элементов не нова. Еще на заре его применения использовался метод подконструкций. Однако для обеспечения приемлемых эксплуатационных свойств метода конечных элементов это давало лишь банальную возможность снизить временной цикл процесса моделирования через его частичное параллеливание, ничуть не снижая трудоемкости.

Как известно, любое моделирование должно обеспечивать адекватное отображение свойств и связей моделируемого объекта средствами модели. Для этого в процессе моделирования все существенные свойства и связи реального (моделируемого) объекта должны быть должным образом воспроизведены в его модели. Значит, в силу того что в процессе проектирования КСС объектом проектирования является конструкция, обладающая определенной внутренней иерархической структурой, а процесс проектирования КСС включает в себя структурное проектирование (проектирование структуры конструкции), то при выполнении всех видов моделирования, связанных с процессом проектирования КСС, совершенно очевидна необходимость выполнения следующих условий:

моделирование конструкции в процессе проектирования должно обязательно отражать структуру конструкции;

структура модели должна адекватно воспроизводить структуру проектируемого объекта;

степень детальности описания структуры модели должна соответствовать глубине ее разработки в процессе проектирования;

моделирующие средства должны давать возможность оперативно отслеживать состояние объекта и, в частности, его структуры.

Несоблюдение хотя бы одного из этих условий приводит к тому, что моделирование конструкции оказывается неадекватным, а результаты проектирования, полученные на таких моделях, неудовлетворительными. Поэтому структурирование моделирующих средств по любым признакам, не связанным со структурой моделируемой конструкции, не в состоянии в полной мере удовлетворить требованиям процесса проектирования КСС. Являясь по сути своего рода каталогом звеньев конструкции, описание структуры в моделирующих средствах может определять структуру остальных разделов этих средств. Этим обусловлена

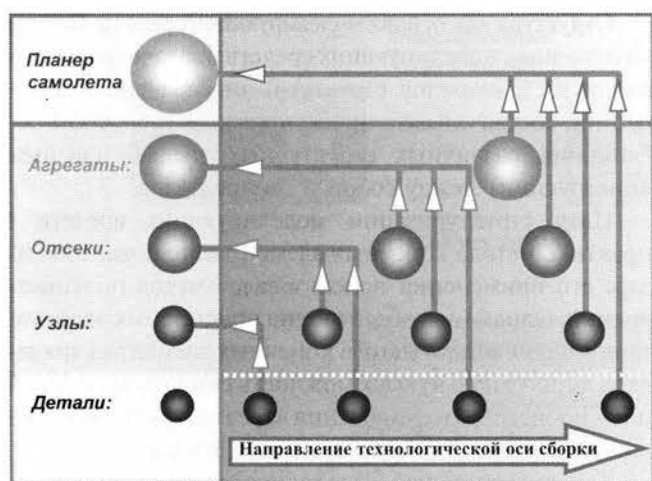


Рис. 3. Общий вид структуры объекта проектирования

определяющая роль структурного компонента моделирующих средств в обеспечении качества моделирующих средств. Именно он является универсальной общей частью моделирующих средств, определяющей все технологические преимущества разработанного программного комплекса формирования КСС.

В разработанные моделирующие средства оболочки заложен потенциал, позволяющий воспроизводить любые возможные конфигурации иерархической структуры моделируемого объекта. На рис. 3 изображен общий вид иерархической структуры моделируемого объекта, реализуемый моделирующими средствами. Ее конфигурация строится на тех же уровнях иерархии, что и конфигурация структуры реальной конструкции: детали, узлы, отсеки и агрегаты. Конфигурация структуры каждого конкретного объекта проектирования формируется индивидуально и может исходить как из конструктивно-технологического членения конструкции, являя собой при этом конструктивно-технологическую модель (КТМ) планера самолета, так и из других соображений.

Более того, в связи с наличием специфических технологических потребностей процесса формирования КСС моделирующим средствам даны следующие возможности:

- оперативно отслеживать изменения (вариации) в структуре конструкции;

- моделировать надструктурные образования — *варианты* конструкции и ее фрагментов.

В состав этих образований могут быть включены комбинации из звеньев конструкции, относящиеся к любому структурным уровням. Разница между фрагментом и вариантом конструкции заключается в том, что ва-

риант — это выборка из звеньев конструкции, представляющая собой один из самостоятельных рассматриваемых альтернативных вариантов конструкции, а фрагмент — это любая локальная выборка. Поэтому вариант всегда содержит в своем составе вершину пирамиды — планер самолета в целом, а фрагмент — нет. Одни и те же звенья конструкции одновременно могут быть включены в различные варианты и фрагменты.

Таким образом, в целом организация структуры имеет сетевой характер, сочетая в себе признаки как иерархической подчиненности, так и функциональной востребованности ее звеньев в различных вариантах конструкции. При этом были созданы исполнительные средства (алгоритмы и программы), предоставляющие возможность проводить комплекс необходимых мероприятий по проектированию объектов, включая действия по проведению структурных изменений, производить различного рода выборки информации по оперируемым зонам, осуществлять комбинирование составом конструкции.

Моделирование в базовых элементах. Исходными для построения конечно-элементных моделей являются данные, которые по отношению к процессу формирования КСС можно разделить на внешние и внутренние.

К группе внешних данных можно отнести те данные, которые формируются вне процесса формирования КСС средствами сопредельных с ним процессов, в частности аэродинамической и инерционно-массовой компоновки. Поскольку для решения этих задач используются различные автоматизированные средства, то их результаты, как правило, предоставляются в виде файлов данных (исходные модели). Эти данные представляют собой описания внешних обводов, внутренних каналов самолета, а также различного рода схемы с привязкой основных агрегатов, функциональных блоков, отсеков, оборудования и т.д. Этот тип исходных данных носит наиболее стабильный характер.

К группе внутренних данных относятся те, которые определяются непосредственно в процессе формирования КСС. Это могут быть различные параметры, задающие конфигурацию и положение основных силовых элементов, а также информация, локально переопределяющая внешние данные. Внутренние данные могут переопределяться многократно в процессе формирования КСС, отражая ее текущее состояние.

Для формирования конечно-элементных моделей применяется способ, основанный на использовании промежуточной технологической модели конструкции — конструктивно-силовой модели (КСМ) (рис. 4).

Идея включения промежуточной модели заключается в следующем: ее вид выбирается таким образом, чтобы при одних и тех же исходных данных трудоемкость процесса построения этой модели должна быть существенно ниже, чем при построении КЭМ, а переход от промежуточной модели к конечно-элементной должен быть автоматизированным.

Самый известный из современных препроцессоров Patran (разработка фирмы MSC Software Corporation) также предлагает использование промежуточной модели в виде широкого класса интерполирующих поверхностей для последующей генерации на них конечно-элементных сеток. Однако там формальные алгоритмы генерации сеток напрямую не связаны с топологической конфигурацией КСС (взаимное расположение звеньев конструкции). По этой причине уровень трудоемкости хотя и заметно снижается, но остается не совсем приемлемым для использования в технологической цепи формирования КСС. Поэтому при разработке моделирующих средств КСМ наряду с уже изложенными требованиями к промежуточным моделям должны были быть удовлетворены требования по установлению максимальной идентичности процесса ее автоматизированного построения реальному процессу формирования КСС и обеспечению наибольшей адекватности моделирования.

Для этого КСМ по своей структуре и форме представления данных максимально приближена к реальному описанию конструктивно-силовой схемы. Здесь разработчик КСС оперирует с категориями создаваемого объекта (лонжерон, панель, шпангоут и т.п.) вместо менее ему понятных специфических категорий метода конечных элементов (узлы, элементы, подконструкции и т.п.). Благодаря тому, что в предложенном способе построения КЭМ оба технологических перехода между различными моделями автоматизированы, резко снижено количество задаваемых параметров, тем самым обеспечивается качественно новый (на один-два порядка ниже) уровень трудоемкости и сроков построения КЭМ. Поскольку КСМ, как и исходные модели, может отражать структурный аспект конструкции самолета, такой способ построения позволяет создавать глубоко структурированные конечно-элементные модели любых вариантов и фрагментов формируемой конструкции.

Моделирующие средства конструктивно-силовой модели. Промежуточная модель конструкции создается в процессе формирования КСС как средство отображения текущего состояния КСС и остается в памяти



Рис. 4. Схема построения КЭМ

ти ЭВМ. Она создается для каждого исследуемого варианта в момент его образования и сопровождает его в течение всего цикла формирования и использования, вплоть до удаления в случае отбраковки.

В ее составе в полном объеме представлена информация, отражающая ее силовую увязку. Чтобы не быть информационно перенасыщенной, моделирующие средства КСМ определены так, как показано на рис. 5.

Содержание и возможности структурного компонента определены функциональными возможностями моделирующих средств для описания структуры объекта проектирования.

Геометрический компонент призван моделировать информацию о расположении, конфигурации элементов конструкции и их пространственных ограничениях для последующей трансформации ее в категории КЭМ.

Ограничения могут носить характер определенных звеньев конструкции. Например, плоскость лонжерона может ограничиваться верхней и нижней обшивочными панелями и парой крайних нервюр. Благодаря наличию структуры модели информация геометрического характера может задаваться как для каждого звена конструкции в отдельности, так и для группы



Рис. 5. Моделирующие средства КСМ

звеньев. Таким образом может быть задана геометрия всех основных силовых элементов конструктивно-силовой схемы вплоть до мелких сборок (панелей, нервюр, лонжеронов, шпангоутов и т.д.). Использовать этот способ задания геометрической информации для звеньев конструкции типа *деталь* (пояс, стрингер и т.д.) представляется нецелесообразным по причине высокой трудоемкости.

Конструктивно-типовой компонент создан специально для задания исходных данных внутри мелких сборок на основе типовых решений. В процессе их задания создается внутренняя структура моделируемого объекта (мелкой сборки), и формируются геометрические данные структурных звеньев – деталей. В настоящее время реализованы несколько типовых решений, охватывающих наиболее распространенные виды конструктивных решений и покрывающих большинство потребностей пользователя.

Основная информация расчетных конечно-элементных моделей (узловая и конечно-элементная) может быть задана с различной плотностью. Как правило, чем гуще конечно-элементная сетка, тем выше точность моделирования. Но с ростом густоты сетки модели растет и трудоемкость ее построения. За счет роста размерности задачи растет также и время проведения одного прямого расчета. Поэтому всегда существует разумный компромисс между точностью моделирования и издержками по формированию и эксплуатации расчетной модели. Как правило, при расчете общего НДС в задачах формирования конструктивно-силовой схемы необходимым и достаточным уровнем точности моделирования считается такой, когда каждая силовая клетка конструкции моделируется одним конечным элементом.

Под силовой клеткой понимается область звена конструкции, ограниченная со всех сторон другими звеньями. В этом случае имеет место следующее:

все основные силовые звенья конструкции находят свое отражение в модели;

конечно-элементная сеть воспроизводит реальную топологию конструкции (взаимное расположение звеньев конструкции), а не схематичную, регулярную, благодаря чему адекватность моделирования повышается;

модель не перегружена лишней информацией, которая, как правило, важна только при исследовании местных эффектов;

при таком моделировании возникают определенные преимущества и удобства для применения оптимизационных процедур, связанных с выбором параметров силовой клетки.

В отечественной практике этот подход был впервые применен А.К. Ковалевским к задаче автоматизированного построения конечно-элементных моделей конструкций типа крыла [2]. Задача решалась для типовой конструкции, содержащей набор продольных элементов (лонжеронов и стенок) и поперечных (нервюр), заданных системой параметров положения, а также обшивочные панели. Основным недостатком этого решения является строгое ограничение его применимости достаточно узким классом конструкций.

Предложенный способ построения конечно-элементных моделей конструкции на основе КСМ позволяет в автоматическом и/или полуавтоматическом режиме (режиме коррекции) реализовать такой подход для широкого круга конструкций самой сложной конфигурации.

Технологические аспекты построения конечно-элементных моделей. Координаты узлов КЭМ могут быть заданы координатами узлов конструкции, описанной средствами КСМ. Каждый узел конструкции является результатом пересечения трех структурных звеньев конструкции при условии, что пересечение имеет место в области пространства, являющейся областью существования конструкции. Полная система узлов конструкции образуется совокупностью всевозможных пересечений. Каждый полученный таким образом узел несет на себе информацию о своих координатах x , y и z , а также однозначно определенную комбинацию номеров звеньев конструкции, которыми он образован. Координаты совокупности узлов конструкции однозначно могут быть записаны в качестве координатно-узловой информации КЭМ.

Информация о связях узлов каждого отдельно взятого конечного элемента представляет собой список узлов, на которые он опирается. При этом каждый узел образован звеном конструкции, которому принадлежит конечный элемент, и пересекающимися его звеньями конструкции. Границами конечного элемента являются следы этих пересекающихся звеньев конструкции (рис. 6).

Поскольку конструктивно-силовая модель структурирована, то автоматическое построение конечных элементов осуществляется последовательно для каждого звена конструкции. В этом случае трехмерная задача построения сводится к двумерной, алгоритм решения которой значительно проще. В дальнейшем из частных массивов информации отдельных звеньев конструкции формируется общий массив информации о связях узлов модели в целом.

Приведенные методики по определению координат узлов конструкции и определению связей узлов в ко-

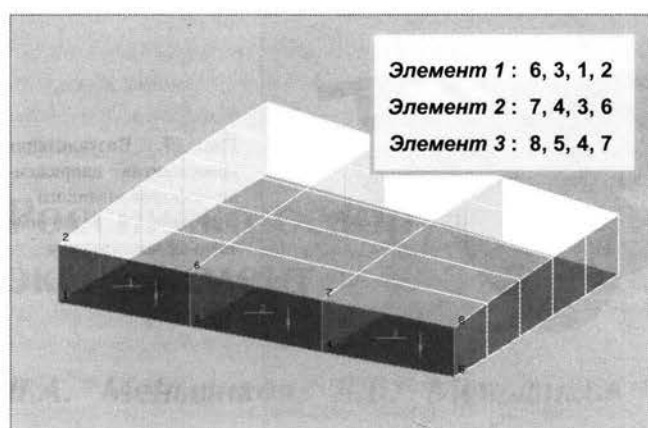


Рис. 6. Информация о связях узлов в конечных элементах

нечных элементах логически просты, универсальны и поддаются полной алгоритмизации. На их основе построены соответствующие автоматические процедуры программного комплекса. При этом комплекс оснащен также и диалоговыми процедурами для осуществления корректирующих действий в этих разделах.

Очевидно, что информация о типе конечных элементов, моделирующих конструкцию, в различных задачах может быть задана по-разному (например, в случае моментного или безмоментного моделирования оболочки). Поэтому выбор типа конечных элементов остается процессом творческим и субъективным. Следовательно, здесь невозможно предложить уникальную автоматическую процедуру. Для этих целей предпочтительнее создавать диалоговые процедуры, которые и предложены пользователю.

Важно, что такого рода информация должна задаваться отдельно для участков и зон, работающих в различных условиях и имеющих разную конструкцию (например, обшивочная панель, стенка лонжерона и т.д.). Благодаря наличию структуры модели информация любого характера может задаваться отдельно для каждого оперируемого звена конструкции, а также для группы звеньев, объединенных по какому-либо признаку в отдельный фрагмент.

Информация о значениях параметров жесткости конечных элементов связана с типом конечных элементов. Как и информация о типе, эта информация также локализована по зонам и участкам конструкции. Поэтому наличие структурного компонента в моделировании положительно влияет на разрешение и этой задачи. Эта информация может быть также определена в результате использования различных процедур по оптимизации параметров жесткости, подключенных к оболочке.

В технологическом плане процесс построения эквивалентной системы сил и моментов (компонентов узловых нагрузок) посредством промежуточной конструктивно-силовой модели также имеет преимущества над традиционным подходом благодаря наличию структурного компонента модели. Различные системы внешних по отношению к конструкции или ее рассматриваемого фрагмента сил осуществляют свое воздействие лишь на определенные области и зоны. Например, внешняя аэродинамическая нагрузка действует только на элементы обшивочных панелей, но не действует на примыкающие к ним элементы подкрепляющего силового набора; нагрузки от отсеченных частей действуют только на элементы сечения; нагрузки от крепления различных агрегатов и оборудования также приложены лишь к определенным элементам в конструкции. Эти участки и зоны легко могут быть определены при наличии структуры модели.

Технологические аспекты обработки результатов расчета НДС. Основными видами информации, получаемой в процессе расчета НДС, являются массивы узловых перемещений и компонентов напряженного состояния в конечных элементах.

Понятно, что такого рода информацию без специальных средств ее обработки и визуализации (постпроцессоров) воспринять очень трудно. Основной проблемой для восприятия является ее объем, а также специфическая числовая форма представления. В отсутствии специальных средств ее обработка может занимать значительные периоды времени и сопряжена с многочисленными ошибками. Более того, если сложная конечно-элементная модель не структурирована, существуют сложности с отображением информации, поскольку интересующие зоны модели могут занимать относительно малые ее участки, да еще и находиться внутри замкнутых полостей.

Благодаря наличию структурного компонента в конечно-элементном моделировании получены следующие возможности:

визуализация напряженного и деформированного состояния любого заданного звена конструкции или произвольно заданной группы звеньев путем простого отсечения лишней информации (рис. 7);

сравнение результатов различных альтернативных вариантов конструкции (рис. 8).

С помощью разработанных программных средств решен ряд практических задач, стоявших перед коллективом конструкторского бюро по совершенствованию конструктивно-силовых схем проектируемых самолетов. В ходе их решения проводились расчетные исследова-

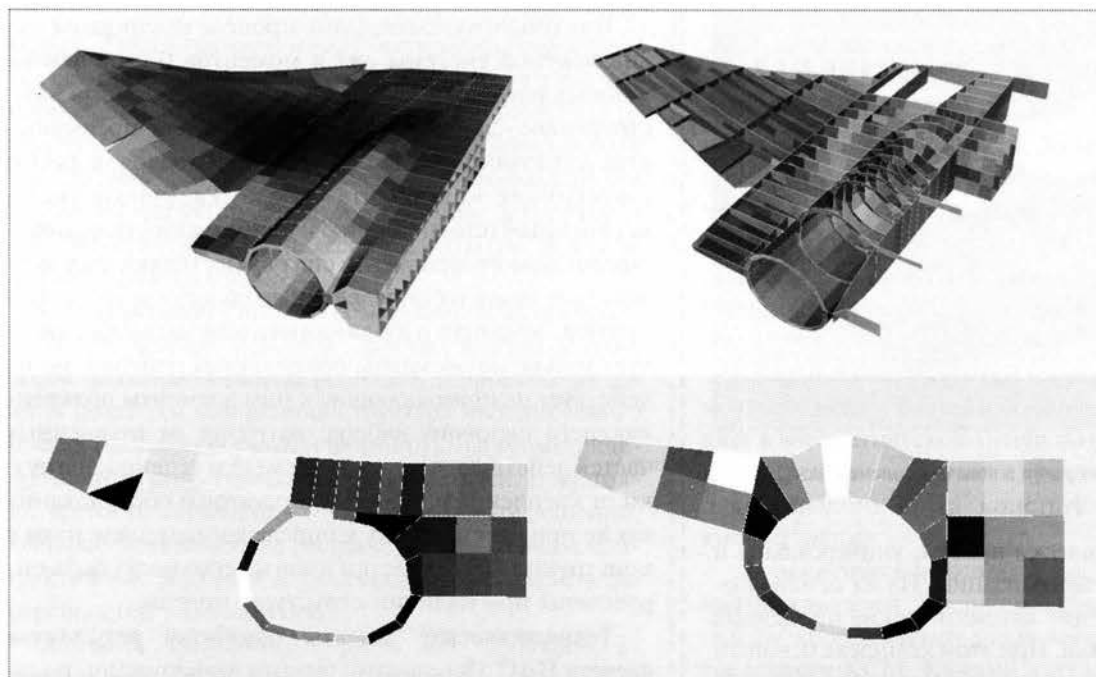


Рис. 7. Визуализация компонентов напряженно-деформированного состояния в различных звеньях конструкции

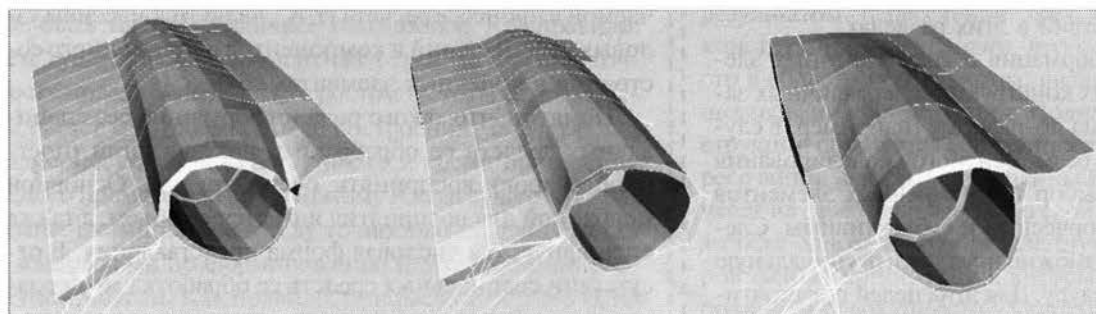


Рис. 8. Сравнение деформаций в различных вариантах хвостовой части конструкции

дования по поиску путей повышения жесткости конструкции планера самолета через изменение конфигурации его конструктивно-силовой схемы, выработка оптимальной стратегии внесения изменений в КСС, а также оценки различных конструктивно-силовых схем проектируемых самолетов.

Решение этих задач в сжатые сроки, с должными широтой охвата проблем и качеством стало возможным исключительно за счет использования созданного комплекса программных средств.

Все методики, положенные в основу программного комплекса по формированию конструктивно-силовых схем проектируемых самолетов, универсальны, не зависят от конфигурации (как геометрической, так и топологической) моделируемой конструкции и могут быть использованы для проектирования объектов любой сложности. По приблизительным оценкам, технологи-

ческий цикл проведения работ по поиску возможных вариантов усовершенствования КСС с помощью разработанного комплекса в 20–30 раз ниже, чем при использовании для этих целей традиционной разработки (Patran–Nastran) фирмы MSC Software Corporation. Следовательно, разработанный комплекс программ способен удовлетворять требованиям, предъявляемым к средствам автоматизации на ранних этапах проектирования.

Список литературы

1. CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении / под ред. А.Г. Братухина. М.: Изд-во МАИ, 2002. 676 с.
2. Ковалевский А.К. Автоматизация построения конечно-элементной модели для оболочек типа крыла // Уч. записки ЦАГИ. Т. 19. № 3. 1988. С. 115–119.

УДК 629.7

Российско-белорусский космический эксперимент

В.А. Меньшиков, В.В. Меньшиков

В статье показано, что основой одного из наиболее рациональных путей комплексного решения задач мониторинга, информационно-навигационного обеспечения, телевидения и дистанционного обучения в интересах Союзного государства — Союза Беларуси и России — является широкое использование космических средств. Для технической реализации этих задач предлагается создание семейства микроспутников как сегмента многофункциональной космической системы Союзного государства. В составе двигательной установки указанных микроспутников предусматривается использование принципиально нового движителя, не требующего расхода рабочего тела. Решение о применении таких двигателей в дальнейшем может быть принято по результатам космического эксперимента, который реализуется на базе аппаратного и технологического задела, созданного в процессе выполнения программы Союзного государства "Космос-СГ".

V.A. Menshikov, V.V. Menshikov. Russia-Belarus Space Experiment

The article proves that massive use of spacecraft and satellites shall be the mainstay of one of the most reasonable ways to ensure overall monitoring, information and navigation support, TV broadcasting and remote education in the interests of the Union State of Belarus and Russia. To meet the end, a family of micro-satellites is suggested to be introduced, to be an element of the multi-function network of the Union State space infrastructure. The engines of such satellites are expected to be based on the totally new concept of a propulsion plant that consumes no working medium to produce the propelling force. The decision to adopt the use of such engines may be made in the very near future, as soon as the space experiment is completed based on the equipment and technological backlog created within the framework of the Union State Space Program.

Нарушение единого экономического, информационного и оборонного пространства, вызванное распадом СССР в начале 1990-х гг., и последовавшее за этим нарушение кооперации, сложившейся в ракетно-космической отрасли, негативно отразились на высокотехнологической космической деятельности как в России, так и в бывших союзных республиках, привели к снижению темпов развития космической техники, ее моральному и физическому старению. В начале июля 2006 г. прошел ряд совещаний у Президента России В.В. Путина и в Правительстве, посвященных стратегии развития ракетно-космической отрасли. Особое внимание было уделено созданию новых космических технологий, повышению качества отечественной ракетно-космической техники, эффективности ее использования, повышению конкурентоспособности на мировом рынке космических услуг.

Одним из путей, который может привести к качественному скачку в развитии российской ракетно-космической техники, является восстановление и развитие кооперативных связей, и прежде всего со странами СНГ. В апреле 2006 г. исполнилось 10 лет с образования Союзного государства — Союза Беларуси и России. За этот



МЕНЬШИКОВ
Валерий Александрович —
директор НИИ КС, вице-президент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, профессор, доктор техн. наук



МЕНЬШИКОВ
Василий Валерьевич —
заместитель директора
Дирекции международных программ НИИ КС

период достигнуты значительные успехи в создании единого экономического пространства. В 2005 г. торговый оборот между Беларусью и Россией достиг 20 млрд дол. За прошедшие годы значительно укрепились и расширились производственные и научные связи между российскими и белорусскими высокотехнологичными предприятиями, в том числе и в космической отрасли. Ярким примером плодотворного сотрудничества в области космической деятельности является реализация программ Союзного государства серии "Космос" — уже выполненной "Космос-БР" и выполняемой в настоящее время "Космос-СГ".

По рекомендации Постоянного комитета Союзного государства в настоящее время активно ведется подготовка проекта перспективной программы "Космос-НТ" на 2008–2011 гг., результатом которой должно стать создание элементов многофункциональной космической системы (МФКС) Союзного государства. В качестве основы орбитальной группировки этой системы предполагается использовать совместно разрабатываемый перспективный микроспутник серии "Союз-Сат", ключевые элементы которого создаются в рамках программы "Космос-СГ". Космическая система на базе семейства микроспутников "Союз-Сат" будет входить в состав многофункциональной космической системы как космический сегмент на основе перспективных космических аппаратов (КА). Выбор микроспутников в качестве ключевых элементов космического сегмента этой системы связан с главной тенденцией развития космической техники на современном этапе — существенным сокращением затрат на разработку, развертывание и эксплуатацию космических систем путем микроминиатюризации, внедрения новых технологий и перехода к мини- и микроспутникам (массой до 200 кг) и ракетам-носителям легкого класса. Предполагается, что все семейство микроспутников будет создано на базе единой унифицированной микроспутниковой платформы, что также сократит затраты на разработку и изготовление семейства микроспутников различного назначения. Создание семейства микроспутников позволит эффективно решать задачи мониторинга, информационно-навигационного обеспечения, телевидения и дистанционного обучения в интересах Союзного государства с использованием современных космических технологий.

Для проведения космических наблюдений, обеспечивающих решение основных задач природопользования, экологии, контроля чрезвычайных ситуаций, картографии, локального влияния на погодные условия и в других областях, определяющими требованиями явля-

ются пространственное разрешение (от нескольких до сотен метров) и период обновления наблюдений заданных районов Союзного государства (вплоть до 0,1...1 ч), а также выполнение наблюдений в различных спектральных диапазонах (панхроматическом, многоспектральном, инфракрасном и радиодиапазоне).

Для обеспечения высокого разрешения с учетом современного технического уровня съемочных систем желательно использовать по возможности наиболее низкие орбиты спутников. Высоты орбит спутников должны находиться в пределах 400...600 км, так как при меньших высотах рабочих орбит космических аппаратов потребуются значительные энергетические затраты на их поддержание, а при больших высотах возникают проблемы с обеспечением необходимого пространственного разрешения. Однако при малых высотах орбит и при высокой разрешающей способности бортовой аппаратуры КА рассматриваемого назначения из-за ограниченных размеров полос обзора (захвата) становится проблематичным обеспечение просмотра обширных территорий земной поверхности с высокой периодичностью в различных спектральных диапазонах даже при использовании нескольких КА. Решение этой проблемы в принципе может быть осуществлено только с помощью многоспутниковой орбитальной группировки, состоящей из нескольких (до десяти и более) микроспутников.

Другой важной задачей является оперативное информационное обеспечение Союзного государства. Поэтому в космическом сегменте многофункциональной космической системы предусматривается создание спутника-ретранслятора "Союз-Сат-Р" на базе микроспутниковой платформы, который доводится с опорной орбиты на геостационарную при помощи собственной универсальной двигательной установки в течение 115...130 сут. По замыслу срок активного существования (САС) спутника-ретранслятора должен составлять 7...10 лет. Бортовой радиотехнический комплекс спутника "Союз-Сат-Р" будет включать в себя четыре активных транспондера Ku-диапазона и обеспечивать на протяжении проектного срока активного функционирования одновременную работу транспондеров для связи и передачи данных (три транспондера) и для телевизионного вещания (один транспондер). Рабочими диапазонами частот являются: 11 ГГц — при передаче данных по линии спутник—Земля; 14 ГГц — при передаче по линии Земля—спутник.

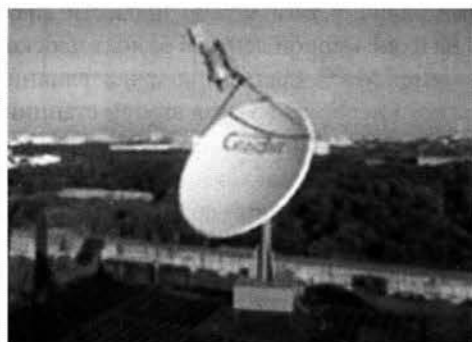
Из изложенного можно сделать вывод о преимуществе предлагаемого проекта, заключающемся в возможности осуществления высокооперативного мониторинга и информационного обеспечения территории Союзного государства с заданной эффективностью при

Микроспутники семейства "Союз-Сат", разработчик НИИ космических систем

«Союз-Сат-Р»



«Союз-Сат-О»



Технические характеристики

Характеристика	"Союз-Сат-О"	"Союз-Сат-Р"
Габариты, мм	500×500×1200	
Общая масса, кг	120	200
Масса полезной нагрузки, кг	20...40	60
Орбита	Солнечно-синхронная, высота $h = 500...650$ км	Геостационарная, $h = 36\,000$ км
САС, годы	5	10
Ракета-носитель	"Ангара-3", "Союз-2" — попутное выведение "Старт-1", "Штиль-2" — прямое выведение "Рокот", "Днепр", "Ангара-1.1, -1.2" — кластерное выведение	
Бортовая целевая аппаратура	Съемочная система высокого и среднего разрешения	Аппаратура ретрансляции, связи и телевидения
Разрешение, м	3...10; 30...120	—
Спектральный диапазон, мкм	0,48...1,7	—
Полоса захвата, км	20...170	—
Число активных транспондеров	—	4 (3—Ku/1—TV)

Наземный комплекс приема, обработки и передачи информации

территориально размещен в Объединенном институте проблем информатики НАНБ, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева и на мобильных пунктах приема информации

Наземный комплекс управления

территориально размещен в НИИ космических систем, секторе ОИПИ НАНБ

Рис. 1

существенном снижении затрат на создание, развертывание и эксплуатацию предлагаемой космической системы.

Основные характеристики микроспутников: оптико-электронного "Союз-Сат-О" и ретранслятора "Союз-Сат-Р" представлены на рис. 1. Управление микроспутниками, прием, обработка и передача информации будут осуществляться как с территории России, так и с территории Беларуси. В таблице приведены массовые характеристики и потребляемые мощности систем микроспутников "Союз-Сат-О" и "Союз-Сат-Р".

В качестве бортовой двигательной установки на борту КА предполагается использовать принципиально новую универсальную двигательную установку, разрабатываемую в рамках совместной программы "Космос-СГ", не требующую расхода рабочего тела. Двигательная установка предназначена для проведе-

ния межорбитальных переходов КА, его удержания в заданной точке орбиты, поддержания требуемой стабилизации и ориентации.

Следует отметить, что двигательные установки космических аппаратов относятся к числу наиболее сложных в отработке и производстве подсистем. Уровень энергомассового совершенства, ресурс активного функционирования, надежность, технико-экономические показатели двигательных установок во многом определяют функциональные возможности и технико-экономическую эффективность КА. Известно, что верхняя атмосфера, солнечный ветер, световое давление хоть и незначительно, но влияют на полет КА, оказывая возмущающие и тормозящие воздействия, которые при длительных полетах накапливаются и становятся значительными. В практике эксплуатации космических систем возникают необходимость компенсации накопленных воздействий космического пространства и, естест-

Массовые характеристики и потребляемая мощность микроспутников "Союз-Сат-О" и "Союз-Сат-Р"

Бортовая система	Масса, кг	Потребляемая мощность (рабочий/дежурный режим), Вт
Бортовой комплекс полезной нагрузки:		
многозональная съемочная система высокого разрешения	22,0	40,0/10,0
многозональная съемочная система среднего разрешения	16,0	30,0/10,0
аппаратура ретрансляции, связи и телевидения	60,0	190,0
бортовая информационная система	6,5	60,0
Высокоинтегрированный бортовой комплекс управления	12,2	25,0
Система энергосбережения	30,0...55,0	5,0
Система обеспечения терморегулирования	4,0...21,0	20,0
Корректирующая двигательная установка	10,0	100,0
Антенно-фидерное устройство	3,0	—
Бортовая кабельная сеть	3,0	—
Конструкция	27,0	—
Конструктивный запас	2,3	—
Микроспутник в целом	До 200*	До 400*

*Уточняется по результатам эскизного проектирования.

венно, стремление бороться с ними по мере их возникновения. Это обуславливает необходимость использования двигателей малой тяги. Полученные в ходе выполнения программы "Космос-СГ" наработки по созданию двигательных установок, действие которых основано на различных физических принципах (лазерно-плазменные, абляционные, химические реактивные, без выброса реактивной массы), свидетельствуют о возможности применения двигателей малой тяги для ориентации и стабилизации космических аппаратов, поддержания их орбит и межорбитальных переходов. В связи с тем, что применение в составе многофункциональной космической системы Союзного государства микроспутников с ключевыми элементами, не прошедшими отработку в ходе космических экспериментов, не представляется возможным, предлагается провести опережающую отработку перспективных двигательных установок в реальных условиях космического пространства, тем более что достоверные сведения о наличии тяги двигателя без выброса массы можно получить только в обезвешенном состоянии (в условиях космоса, при создании искусствен-

ной невесомости в летающей лаборатории и т.д.), при отсутствии сил реакции измерительной установки. Одним из вариантов является проведение экспериментов в условиях Международной космической станции (МКС). В этом случае не требуется создания полномасштабного опытного образца двигателя, системы управления двигателем и стыковки ее с бортовой аппаратурой управления спутника. Для проведения эксперимента достаточно изготовить модель двигателя с автономным питанием и дистанционным управлением (например, с помощью ИК-пульта). Масса всей установки, включая блок управления, составит не более 3...3,5 кг. Модель двигательной установки, в состав которой входят двигатель и блок управления, может быть изготовлена на производственной базе НИИ КС — филиала ГКНПЦ им. М.В. Хруничева. Замеры данных для определения наличия тяги можно провести визуально на фоне мерной ленты в разных плоскостях внутри МКС (для исключения влияния возможного перетока воздуха внутри станции) с фиксацией испытаний видеокамерой для последующей обработки результатов. Время включения для единичной проверки двигателя в какой-либо плоскости будет составлять всего 1...2 мин, причем результаты испытаний будут очевидны уже в процессе эксперимента, даже без предварительной обработки результатов.

Для проведения испытаний в условиях обитаемого аппарата необходимо изготовить опытный образец двигателя в соответствии с требованиями, предъявляемыми к двигательным установкам КА, создать блок управления двигателем, включая схему контроля запуска, позволяющий производить включение двигательной установки от бортовой аппаратуры управления спутника по командам с Земли. В этом случае для расчета тяги понадобится создание измерительной системы для оценки изменения скорости полета либо орбиты КА.

При создании измерительной системы следует учитывать, что такой двигатель создает тягу импульсами (толчками) с частотой 5...25 Гц и при работе будет вызывать достаточно сильную вибрацию корпуса, что делает проблематичным использование инерциальных датчиков ускорения. Поэтому следует отдать предпочтение измерительной системе с оценкой изменения орбиты (с помощью системы позиционирования либо наземных измерительных средств).



Рис. 2

Возможен и такой вариант эксперимента — проведение испытаний вне станции в течение 5...10 мин во время планового выхода космонавта в открытый космос (рис. 2).

Более сложные, однако реально осуществимые варианты — испытания двигателя в составе экспериментальных автоматических космических аппаратов (например, типа «Светоч», «Конопус-В» или грузового космического корабля «Прогресс»). В этом случае в конструкции космических аппаратов необходимо предусмотреть места для размещения двигателя. Масса двигателя будет достигать 5...10 кг, питание — осуществляться от бортовой сети. При испытаниях в составе корабля «Прогресс» функционирование двигателя должно проверяться после разгрузки и отстыковки корабля «Прогресс» от МКС в течение 10...15 ч. При испытаниях в составе автоматических космических аппаратов появляется возможность инструментального измерения параметров работы двигателя за счет фиксации изменения параметров их движения. В случае положительного результата испытаний дви-

гатель без выброса массы будет использован в составе перспективного микроспутника, создаваемого в рамках российско-белорусской программы (см. рис. 2).

Наиболее предпочтительный вариант — это адаптация КА «Светоч» под испытания четырех видов двигателей, разрабатываемых в рамках программы «Космос-СГ» для управления движением экспериментального КА «Союз-Сат-Э» (рис. 3): двигатель без выброса массы; абляционный двигатель; лазерно-плазменный двигатель; химический реактивный двигатель. В этом случае масса космического аппарата увеличится на 15...20 кг.

В настоящее время ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (НИИ КС) совместно с кооперацией организаций-соисполнителей предложили подготовить и провести в 2008 г. космический эксперимент по экспериментальной отработке новых двигательных установок, разработанных на основе современных технических решений для перспективных микроспутников. Эксперимент планируется провести после принятия решения Постоянного комитета Союзного государст-

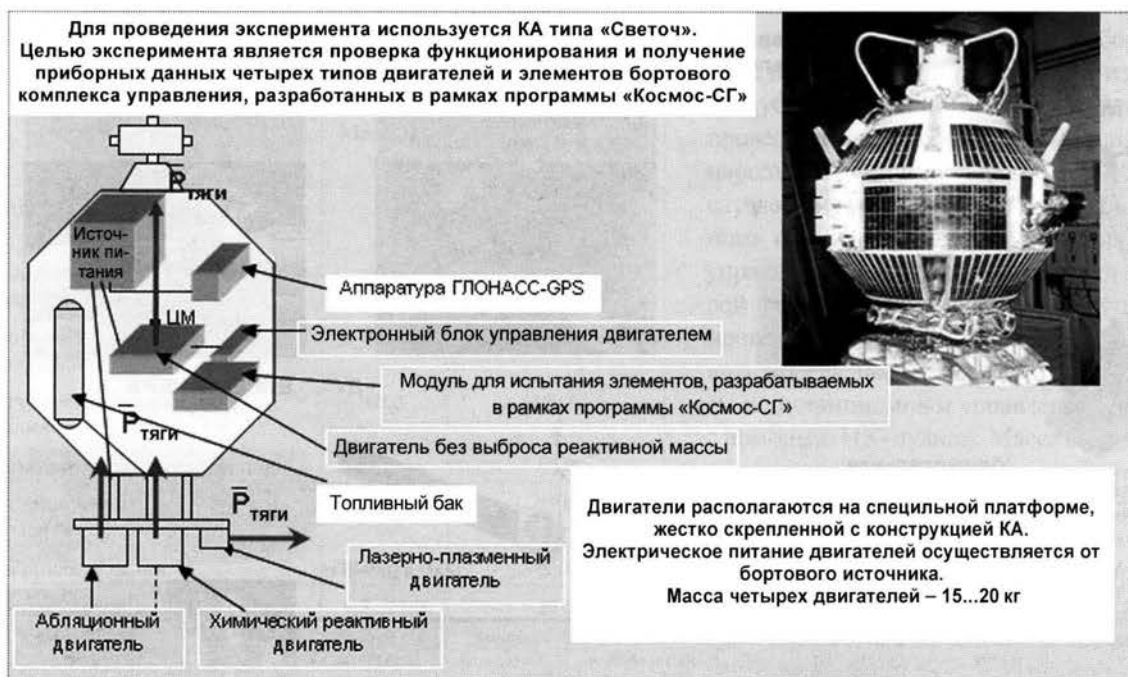


Рис. 3

ва, Федерального космического агентства и Космических войск. Согласно проекту этого решения Космические войска предоставят для проведения эксперимента КА "Светоч".

Главным исполнителем по подготовке и проведению космического эксперимента предусматривается назначить ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева" (НИИ КС), который должен выполнить следующие работы:

разработать необходимую для проведения космического эксперимента программно-методическую документацию и обеспечить ее согласование в установленном порядке;

обеспечить совместно с организациями-соисполнителями изготовление и поставку для проведения космического эксперимента летных экспериментальных образцов новых двигательных установок для перспективных микроспутников;

обеспечить совместно с организациями-соисполнителями доработку КА "Светоч" для проведения космического эксперимента, проведение его наземной отработки и поставку на космодром;

участвовать в подготовке и проведении запуска доработанного для проведения эксперимента КА "Светоч";

обеспечить совместно с организациями-соисполнителями подготовку наземных средств приема и обработки экспериментальной информации, проведе-

ние космического эксперимента согласно утвержденной программно-методической документации;

обеспечить обработку результатов космического эксперимента и выпустить итоговый отчет.

Проведение эксперимента по проверке эффективности функционирования двигательных установок при обеспечении управления космическим аппаратом позволит решить проблему применения двигателей малой тяги малых и сверхмалых космических аппаратов и сократить сроки их разработки и изготовления. С точки зрения решения целевых задач, которые должны выполняться микроспутниками в интересах Союзного государства, можно реализовать ряд практически важных возможностей, а именно: проводить научные исследования космического пространства, мониторинг аварийных ситуаций и последствий аварий, мониторинг и оперативную оценку объектов сельского хозяйства, мониторинг экологической ситуации; обеспечивать ретрансляцию мониторинговой информации; проводить дистанционное обучение специалистов России и Беларуси; обеспечивать связью информационно-навигационную систему Союзного государства.

Таким образом, планируемый совместный российско-белорусский космический эксперимент позволит обеспечить успешное создание многофункциональной космической системы Союзного государства, нацеленной на решение целого ряда практически важных задач.

УДК 629.7

К столетию главного конструктора Григория Ивановича Воронина

Б.Б. Пушкин, Е.И. Холодилова

В статье рассказано о жизненном и творческом пути Григория Ивановича Воронина, который с 1940 по 1985 г. был главным конструктором ОКБ и завода "Наука" и являлся выдающимся специалистом в области авиационной и космической теплотехники, автором книг, статей, патентов, основателем школы подготовки инженеров-теплотехников и теплоэнергетиков в московских вузах.

B.B. Pushkin, E.I. Kholodilova. To 100th Anniversary Of Grigory Ivanovich Voronin

The article spotlights the life and creative activity of Grigory Ivanovich Voronin, who from 1940 to 1985 was the Chief Designer of the Nauka design bureau and plant. An outstanding specialists in aircraft and spacecraft heat engineering, he holds the authorship of books, articles and patents, and was the founder of the heat engineering school under Moscow higher education establishments.

Григорий Иванович Воронин родился 21 декабря 1906 г. в г. Макеевка Донецкой области в семье шахтера. В 12 лет потеряв отца, он был вынужден уйти из начальной школы, в которой проучился всего год, и начать работать: сортировал уголь на руднике, был разнорабочим сахарного завода, учеником электрослесаря на механическом заводе, электриком на металлургическом заводе. Работая на механическом заводе, Воронин без отрыва от производства окончил школу рабочей молодежи, а затем двухгодичную электромеханическую школу.

Комсомольская и профсоюзная организации Макеевского металлургического завода направили Григория Воронина учиться на рабфак при Донецком горном институте, который он окончил с отличием. Для продолжения образования Григорий Воронин поехал в Москву.

В 1936 г. он с отличием окончил моторостроительный факультет Московского авиационного института и получил квалификацию инженера-механика по специальности "авиационные двигатели".

С июля 1936 г. деятельность Г.И. Воронина связана с заводом "Наука". Завод № 34 специализировался в основном на выпуске радиаторов для авиационных двигателей. Григорий Иванович активно включился в работу.

Вскоре он предложил новую конструкцию радиатора, которая упрощала сборку и позволяла применить новый способ изготовления — пайку окупанием в припой. При его непосредственном участии на заводе была создана лаборатория для испытаний образцов радиаторов и проведения экспериментальных работ.

В 1938 г. Г.И. Воронин становится главным технологом завода, а в феврале 1939 г. — начальником конструкторского отдела, созданного в 1935 г. для разработки новых радиаторов. 17 апреля 1940 г. конструкторский отдел реорганизуется в опытно-конструкторское бюро ОКБ-34. Григорий Иванович назначается его начальником и одновременно главным конструктором завода.



ПУШКИН
Борис Борисович —
заместитель главного конст-
руктора ОАО "НПО "Наука"



ХОЛОДИЛОВА
Елизавета Исааковна —
ведущий инженер ОАО
"НПО "Наука", доцент,
кандидат техн. наук

С увеличением скорости и высоты полета самолетов ужесточились требования к теплообменным агрегатам. В ОКБ разрабатывались новые типы таких агрегатов, велась большая научно-исследовательская работа по широкому применению в конструкциях цветных металлов. По предложению Воронина были созданы радиаторы подковообразной формы.

В начале Великой Отечественной войны завод № 34 и ОКБ во главе с Ворониным были эвакуированы в г. Троицк Челябинской области. За короткое время там удалось наладить выпуск авиационных радиаторов, и в январе 1942 г. радиаторы стали поступать для оснащения фронтовой авиации.

Летом 1942 г. Воронин с группой рабочих и конструкторов вернулся в Москву. Эта группа конструкторов стала основой нового ОКБ-124, созданного на территории ОКБ-34.

В 1942–1943 гг. ОКБ под руководством Воронина работает на оборону. Были спроектированы оборудование и инструменты для капитального ремонта радиаторов. Чертежи на эти комплекты переданы для дальнейших работ ремонтному управлению армии. Для ремонта радиаторов во фронтовых условиях в ОКБ на базе автомобиля ЗИС-5 была создана подвижная мастерская.

Несмотря на трудности военного времени, Григорий Иванович Воронин и его сотрудники находили время для творческого обобщения получаемых результатов. Разрабатывали инструкции по эксплуатации новых изделий, составляли указания по их ремонту. "Руководство по ремонту современных радиаторов", написанное Ворониным, использовалось в строевых частях. Это позволяло значительно сокращать сроки ремонта самолетов, поврежденных в боях.

В 1944 г. в результате большой исследовательской и экспериментальной работы был подготовлен к выпуску воздушно-воздушный радиатор для высотных полетов реактивных самолетов.

В ноябре 1944 г. главный конструктор ОКБ Г.И. Воронин, подводя итоги десятилетней работы по выпуску авиационных радиаторов, представляет программу модернизации ОКБ на ближайшие годы: *"Из года в год система охлаждения воды, масла и воздуха приобретает в*

авиационной технике все большее и большее значение, поэтому в целях обеспечения требуемого прогресса радиаторостроения необходимо:

1. Построить к 1948 году ... новую опытно-производственную базу.

2. Увеличить существующий численный состав ОКБ в четыре раза...

3. Выделить ОКБ в самостоятельную организацию...

4. ... Расширить профиль ОКБ, передав ему проектирование и изготовление систем отопления и обогрева самолетов и их приборов, а также проектирование и изготовление антиобледенителей...

5. Уделить сейчас должное внимание ОКБ-124, его нуждам и запросам, ибо сложившееся отношение к агрегатному ОКБ рано или поздно, но неизбежно, сделает его "узким местом" в области авиационной техники...

6. Выделить или построить для работников ОКБ жилой дом площадью 10 000 м²."

После окончания войны эта программа успешно претворялась в жизнь. Авиация развивалась очень интенсивно. В связи с ростом скорости полетов, а следовательно, аэродинамическим нагревом охлаждающего воздуха и увеличением притока тепла от оборудования в кабину летчика, возникла

потребность в использовании более мощных охлаждающих агрегатов.

Необходимы были агрегаты, дающие возможность понижать температуру воздуха до требуемого уровня независимо от температуры охлаждающей среды. В 1948 г. было начато проектирование и изготовление таких агрегатов – компактных и легких авиационных турбохолодильников.

К концу 1940-х гг. завод и ОКБ осуществляли разработку конструкций, изготовление, лабораторные и заводские испытания следующих изделий:

- радиаторов для самолетов и их двигателей;
- агрегатов для питания теплом антиобледенительных устройств;
- агрегатов для подогрева воздуха в кабинах самолетов;
- агрегатов антиобледенительных устройств на самолетах;



Герой Социалистического Труда
Григорий Иванович Воронин

автоматических регуляторов температуры и давления жидкости для радиаторов.

Предвидя задачи, которые предстоит решать предприятию по конструированию теплообменных агрегатов, при создании систем жизнеобеспечения для самолетов, а возможно, и космических кораблей, а также систем терморегулирования оборудования различного назначения для летательных аппаратов, главный конструктор Г.И. Воронин стал интенсивно укреплять инженерно-технический состав всех подразделений ОКБ и завода, заменяя дипломированными специалистами специалистов-практиков. Он создавал сотрудникам благоприятные условия для получения среднего и высшего образования (с отрывом и без отрыва от производства).

Г.И. Воронин поощрял контакты сотрудников ОКБ с широким кругом организаций: научно-исследовательскими институтами, КБ — разработчиками авиационной и космической техники, вузами, информационными центрами, библиотеками. Благодаря этим контактам распространялась информация о возможностях ОКБ, приходили предложения о совместных разработках, увеличивалась номенклатура опытных изделий не только в области жизнеобеспечения летательных аппаратов, но и наземного оборудования, обслуживающего эти аппараты на аэродромах и полигонах.

Пятидесятые годы прошлого столетия характеризовались большим притоком молодых специалистов—выпускников средних и высших технических учебных заведений. Начиная с 1957 г. в подразделения ОКБ и завода стали набирать молодых специалистов из трех ведущих вузов Москвы: МВТУ, МЭИ и МАИ. Молодежь под руководством опытных специалистов вырастала в профессионалов, способных решать сложные проблемы с наименьшими затратами времени и сил.

Несмотря на огромную конструкторскую и организаторскую работу, Г.И. Воронин успевает заниматься научными исследованиями и в конце 1948 г. защищает кандидатскую диссертацию, а в 1949 г. без отрыва от производства поступает в докторантуру Энергетического института. В 1951 г. он успешно защитил докторскую диссертацию по теме "Авиационные теплообменные агрегаты".



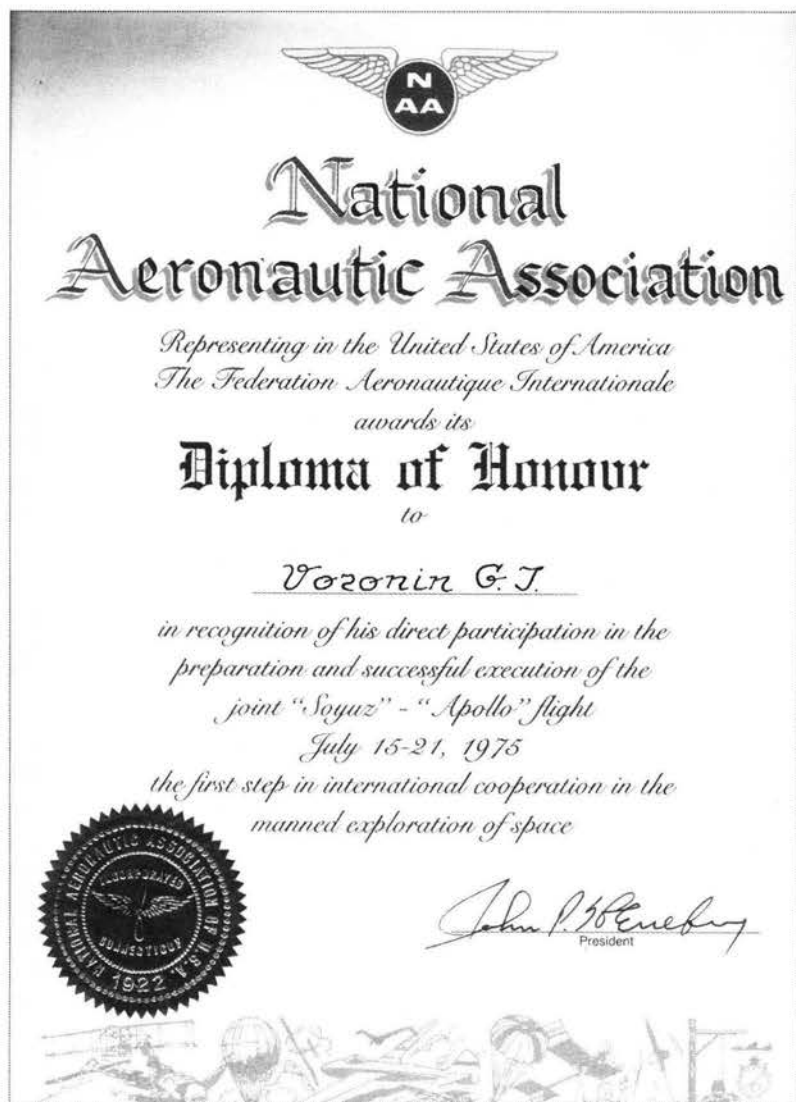
Г.И. Воронин с летчиками-фронтовиками

В начале 1950-х гг. была проведена реорганизация предприятия, резко возросло число сотрудников, сформировались основные направления деятельности, сохранившиеся до настоящего времени.

Все основные агрегаты систем кондиционирования разрабатывались в ОКБ и изготавливались на заводе по мере возникновения необходимости их использования в авиационной промышленности. На предприятии сложились отделы, связанные с созданием различных агрегатов: теплообменников, турбохолодильников, всевозможных клапанов, регуляторов необходимых параметров и т.д. Однако сами системы кондиционирования до определенного времени разрабатывали предприятия—разработчики самолетов, а заводу "Наука" заказывали комплектующие изделия для этих систем.

В период бурного развития авиастроения росли летно-тактические характеристики самолетов: скорость и высота полета, тепловыделение бортового оборудования и т.д., а для гражданских самолетов необходимо было удовлетворять требованиям комфортности не только в кабине пилота, но и в пассажирских салонах.

Сотрудничество с различными авиационными КБ позволило предприятию накопить огромный опыт, а также информационную базу по конструированию и исследованию агрегатов для систем жизнеобеспечения. Создание самих систем кондиционирования в неспециализированных КБ тормозило процесс их развития, и Воронин принял решение взять на себя



Грамота Национальной ассоциации аэронавтики США, полученная Г.И. Ворониным за участие в подготовке и успешном осуществлении совместного полета "Союз"—"Аполлон"

разработку бортовых систем кондиционирования воздуха (СКВ).

В дальнейшем такое задание было им получено. В ОКБ под руководством Г.И. Воронина проводили необходимые исследования и поиск вариантов систем, их оптимизацию, разработку принципиальной схемы выбранного варианта, выдавали технические задания на разработку комплектующих изделий конструкторским отделам. После получения комплектующих изделий систему собирали на стенде и проводили комплекс предварительных испытаний. В итоге систему предъявляли представителю заказчика для проведения государственных испытаний и

отгрузки на объект. Такой порядок создания систем устраивал всех: министерство, генерального заказчика и представительство заказчика.

Первой системой, самостоятельно разработанной на предприятии, была СКВ самолета МиГ-25. СКВ для первого в нашей стране сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144 также была разработана в ОКБ Г.И. Воронина. Эта система содержала ряд новых технических решений, таких как охлаждение топливом, применение турбохолодильника с наддувом и двухрежимным сопловым аппаратом и др.

Работая руководителем конструкторского отдела, а затем и в должности главного конструктора, Г.И. Воронин отдает много сил и энергии не только организации конструкторских работ, но и планомерно руководит созданием испытательных служб. Например, перед самой войной была построена опытно-испытательная база предприятия. Позднее при каждом конструкторском отделе были организованы испытательные лаборатории по соответствующей тематике.

В создании мощного испытательного комплекса участвовали многие предприятия Министерства авиационной промышленности. В 1956—1957 гг. были проведены проектные работы, а через несколько лет последовательно сданы в эксплуатацию первая, вторая и третья очереди высотной испытательной станции. Все изделия, выходявшие с предприятия, могли быть испытаны в условиях, имитирующих высотные полеты.

К 1956 г. относится начало работ по созданию изделий, блоков и систем, обеспечивавших функционирование пилотируемых и беспилотных космических аппаратов. В разных отделах ОКБ в короткие сроки разрабатывались регуляторы давления, регуляторы расхода, датчик влажности, осушители и регенераторы воздуха, вентиляторы, теплообменники, электромагнитные клапаны, редукторы давления и другие агрегаты криогенно-вакуумной техники.

И когда Постановлением Правительства от 22 мая 1959 г. перед ОКБ-1 во главе с С.П. Королевым была поставлена задача разработать экспериментальный вариант корабля-спутника для полета человека в космос, то создание системы регенерации воздуха для этого аппарата было поручено ОКБ-124 под руководством Г.И. Воронина.

Разработки велись чрезвычайно напряженно, требования к изделиям были более жесткими, чем для авиации. Однако ОКБ справилось с возложенными задачами: все заданные агрегаты работали штатно на кораблях-спутниках "Восток" с животными и биологическими объектами и 12 апреля 1961 г. на корабле, пилотируемом первым летчиком-космонавтом Ю.А. Гагариным.

После полета Ю.А. Гагарина большая группа сотрудников ОКБ и завода получила правительственные награды. Организатор создания системы жизнеобеспечения космического корабля Григорий Иванович Воронин был удостоен звания Героя Социалистического Труда.

Последующие пилотируемые космические корабли "Восход", "Союз" и позднее космические станции также оснащали системами жизнеобеспечения, разработанными в ОКБ Г.И. Воронина. За участие в подготовке совместного российско-американского полета "Союз"—"Аполлон" Г.И. Воронин был награжден грамотой Национальной ассоциации аэронавтики США.

В 1976 г. начались работы по орбитальной космической системе многократного использования. Для "Бурана" в ОКБ были разработаны системы терморегулирования, наддува и разгерметизации, технической воды, газового состава. Впервые в практике предприятия системы получили функциональную завершенность, поскольку разрабатывались блоки автоматики для управления агрегатами систем и установления логической связи с системой управления высшего уровня — бортовым компьютером.

Параллельно с деятельностью главного конструктора Г.И. Воронин в течение многих лет вел преподавательскую работу. В 1957 г. он начал преподавать в Московском энергетическом институте, а в 1958 г. получил звание профессора.

Г.И. Воронин и деканат протеплоэнергетического факультета МЭИ открыли новую специальность "Кондиционирование воздуха летательных аппаратов" и разработали программы обучения по этой тематике.

С 1963 г. преподавательская деятельность Г.И. Воронина тесно связана с МВТУ им. Н.Э. Баумана. Он был заведующим кафедрой холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения.

Все, кому пришлось слушать лекции Григория Ивановича, которые он читал в МЭИ и МВТУ, вспоминают о них с большой теплотой. Лекции были интересными, насыщенными богатым практическим материалом и теоретическими основами проектирования СКВ и от-

дельных агрегатов. Читались они простым, доступным для понимания языком.

В МВТУ Г.И. Воронин включился в совершенствование лабораторной базы и учебного процесса. Были обновлены стенды для испытания агрегатов, созданы универсальные стенды для испытания и доводки микрокриогенной техники, уникальный стенд по исследованию подшипников на газовой смазке, который использовался как для учебных лабораторных занятий, так и при выполнении научно-исследовательских работ. Созданы учебные стенды для проведения испытаний теплообменников, демонстрационные стенды элементов систем кондиционирования воздуха в самолетах и космических аппаратах, вентиляторов, турбохолодильников, отремонтирован гелиевый ожижитель и установлен новый. Некоторые лабораторные работы проводились непосредственно на предприятии.

В годы его работы в МВТУ возглавляемая им кафедра и завод "Наука" становятся единым организмом, функционирование которого было направлено на создание и совершенствование систем жизнеобеспечения для авиационной и космической техники. Необычайно расширяется круг вопросов, решаемых предприятием. Воронин не боится брать на себя решение проблем, не характерных для основного профиля ОКБ и завода. Создаются новые лаборатории и отделы, приглашаются специалисты.

Одно из наиболее интересных направлений — системы биологической регенерации. Эти разработки высоко ценились в научном мире. В 1965 г. в Красноярске на Всесоюзном совещании по биохимическим системам работы ОКБ заслужили всеобщее признание.

Самые большие достижения тех лет связаны с разработкой биотехнической системы с использованием одноклеточной водоросли хлореллы. Система предназначена для обеспечения человека кислородом, водой и частично пищей. И все это система воспроизводила из продуктов жизнедеятельности человека: диоксида углерода, мочи и т.д. Она не была доведена до идеального состояния, но все основные инженерные вопросы были решены на высоком научно-техническом уровне.

На основе нескольких подразделений завода в 1967 г. по решению правительства был создан Биотехнический институт при Главном управлении микробиологической промышленности, научным руководителем которого стал Г.И. Воронин.

Для проведения научно-исследовательских работ предприятию требовались квалифицированные научные кадры. Григорий Иванович начал готовить их непосредственно в ОКБ. Его тесные контакты с МВТУ, МЭИ и МАИ позволяли привлекать профессор-

ско-преподавательский состав этих институтов и их научно-исследовательские базы для повышения квалификации научных сотрудников предприятия через целевую аспирантуру. На самом предприятии была обеспечена возможность сдачи кандидатского минимума всем желающим получить ученую степень. Начальникам отделов предлагалось всемерно помогать аспирантам и соискателям в проведении экспериментов.

Результаты научных исследований, проведенных сотрудниками предприятия, публиковались в сборниках "Глубокий холод и кондиционирование" (труды МВТУ) и в издательстве "Оборонгиз" — "Машиностроение".

Григорий Иванович явился инициатором научных исследований по многим направлениям в области создания систем кондиционирования воздуха, терморегулирования, жизнеобеспечения, регулирования давления, тепломассобмена. Одним из ярких достижений его научной деятельности является обширное исследование эффекта рациональной интенсификации теплообмена. Результаты этого исследования стали основой открытия, зарегистрированного в 1981 г. Госкомитетом по делам изобретений и открытий СССР. Этот эффект нашел широкое применение в народном хозяйстве (в частности, он используется в радиаторах сельскохозяйственных машин).

Григорий Иванович Воронин — автор 10 книг, многочисленных статей и 450 изобретений.

Эффективной была и научно-общественная деятельность Г.И. Воронина. Он являлся заместителем председателя секции научно-технического совета Министерства общего машиностроения, членом президиума секции теплоэнергетики научно-технического совета Министерства высшего и среднего образования СССР, членом ученого совета теплоэнергетического факультета Энергетического института, председателем комиссии по кондиционированию воздуха Советского национального комитета Международного института холода, членом Межведомственной комиссии по проблемам медико-биологического обеспечения космических полетов, председателем секции экологических систем жизнеобеспечения, членом редакционно-издательского совета издательства "Оборонгиз" — "Машиностроение", членом Научно-технического комитета по координации науки и техники СССР.

Он являлся заслуженным деятелем науки и техники, кавалером трех орденов Ленина, ордена Октябрьской Революции, трех орденов Трудового Красного Знамени, ордена Отечественной войны I степени, лауреатом Ленинской и Государственных премий СССР.

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации по печати. Свидетельство о регистрации № 017751 от 23.06.98. Учредитель: ООО "Машиностроение-Полет"

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Роспечать" 48906, каталогу "Пресса России" 29188 и каталогу "Почта России" 60258) или непосредственно в редакции журнала

Перепечатка материалов Общероссийского научно-технического журнала "Полет" возможна при письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на Общероссийский научно-технический журнал "Полет" обязательна

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"/ ООО "Машиностроение-Полет", 107076, Москва, Стромынский пер., 4

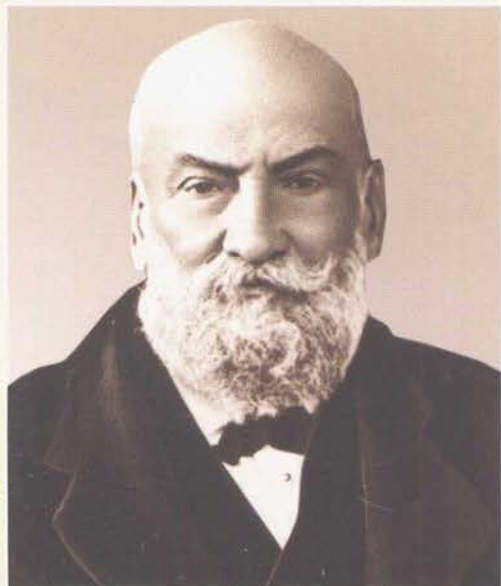
Редакторы *О.Г. Красильникова, И.Н. Мымрина, Д.Я. Чернис*

Технический редактор *Т.И. Андреева*. Корректоры *Л.И. Сажина, Л.Е. Солюшкина*

Сдано в набор 26.10.06. Подписано в печать 19.12.06. Формат 60×88/8. Усл. печ. л. 7,35. Уч.-изд. л. 8,17. Зак. 38. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ОАО "Издательство "Машиностроение".

Отпечатано в Подольской типографии — филиале ОАО "ЧПК", 142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 15



160 лет со дня рождения Н.Е. Жуковского

Выдающийся русский ученый в области механики, основоположник современной гидроаэродинамики, "отец русской авиации" Николай Егорович Жуковский родился 17 января 1847 г. В 1868 г. он окончил физико-математический факультет Московского университета. С 1874 г. преподавал в Императорском техническом училище (с 1917 г. – МВТУ), с 1885 г. – в Московском университете. В МВТУ и университете Николай Егорович трудился до конца своей жизни (1921 г.)

В 1890 г. Н.Е. Жуковский начал исследования в области теории полета. Им открыт принцип образования подъемной силы крыла, определены законы распределения скоростей у лопасти винта, созданы основы аэродинамического расчета самолетов, расчета их динамической продольной устойчивости и прочности. Исследования Н.Е. Жуковского и его талантливых учеников и последователей сыграли важнейшую роль в становлении и развитии авиации.

Автор большого числа работ по различным аспектам теории полета, Николай Егорович вел также исследования в области механики твердого тела, астрономии, гидродинамики и гидравлики, теории регулирования машин и др., был автором учебников по теоретической механике.

Н.Е. Жуковский сочетал глубокие теоретические изыскания с инженерным подходом к решению технических задач. Под его руководством в 1902 г. при механическом кабинете Московского университета была сооружена одна из первых в Европе аэродинамических труб, в 1904 г. в Кучино под Москвой создан первый в мире аэродинамический институт. В 1918 г. по предложению Н.Е. Жуковского был учрежден Центральный аэрогидродинамический институт, первым руководителем которого стал Николай Егорович.

Наша страна чтит память выдающегося ученого. Его именем названы ЦАГИ, Военно-воздушная инженерная академия и престижная научная премия. Подмосковный город, в котором сосредоточены крупнейшие российские авиационные научно-исследовательские институты, по праву носит имя Жуковский.

100 лет со дня рождения П.В. Дементьева

Видный советский государственный деятель и организатор промышленности генерал-полковник-инженер Петр Васильевич Дементьев родился 24 января 1907 г. в с. Убей Казанской губернии в семье учителя. В 1931 г. после окончания Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского он был направлен на работу в НИИ гражданской авиации. С 1934 г. П.В. Дементьев работал в авиационной промышленности, был главным инженером и директором завода. В феврале 1941 г. Петр Васильевич назначен первым заместителем наркома (затем министра) авиационной промышленности СССР. В годы Великой Отечественной войны он внес огромный вклад в создание авиационных предприятий на востоке страны и организацию массового выпуска отечественных самолетов, необходимых для разгрома врага.

В 1953–1957 гг. П.В. Дементьев – министр авиационной промышленности СССР, в 1957–1965 гг. – председатель Государственного комитета по авиационной технике, с 1965 г. и до самой кончины (1977 г.) – министр авиационной промышленности СССР. Под его руководством отечественное авиастроение вышло на передовые рубежи, авиация страны была оснащена реактивной техникой. Многие годы Петр Васильевич был депутатом Верховного Совета СССР и членом ЦК КПСС.

Родина высоко оценила заслуги П.В. Дементьева. Дважды Герой Социалистического Труда (1941 и 1977 гг.), лауреат Государственной премии, он был награжден девятью орденами Ленина и многими другими орденами и медалями.

