

*Посвящается памяти академика
Бориса Николаевича Петрова –
доброто гения развития работ
по космонавтике в Институте
проблем управления (автоматики
и телемеханики) АН СССР*

УДК 629.7.036.54-63

КРАТКИЙ ОЧЕРК НЕКОТОРЫХ РАБОТ ПО КОСМОНАВТИКЕ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В. А. ТРАПЕЗНИКОВА

Ю. П. Портнов-Соколов

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Описаны становление и развитие работ Института по исследованию ЖРД как объекта управления, созданию терминальных систем управления расходом топлива жидкостной ракеты, новым технологиям построения систем подачи топлива в двигатель. Рассмотрены проблема безопасности объектов ракетно-космической техники и управление риском в жизненном цикле объектов этого класса.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень развития космонавтики и, соответственно, ракетостроения характеризует научный потенциал и оборонную мощь страны и во многом определяет ее место в мировом сообществе.

Гениальные работы К. Э. Циолковского обосновали основные принципы ракетостроения, теоретической и практической космонавтики. Его последователи в нашей стране в начале 1930-х гг. (Ф. А. Цандер, С. П. Королев, М. К. Тихонравов), вдохновленные идеей о межпланетных сообщениях, начали работы по созданию ракет, их двигательных установок и теории космического полета. Аналогичные работы в те же годы велись в Германии (Г. Оберт) и США (Р. Годдард). В СССР начал работы по ракетным двигателям В. П. Глушко. Мощный толчок в своем развитии ракетостроение получило в годы второй мировой войны. В фон Брауном (Германия) была создана баллистическая ракета Фау-2 (А-4), которой немцы рассчитывали подавить Англию.

Однако этот расчет не оправдал себя, так как созданные в спешке ракеты были недопустимо ненадежны, а точность стрельбы ими не выдерживала никакой критики – на дистанции менее 300 км отклонения от цели достигали десятков километров.

С окончанием второй мировой войны Советский Союз и США получили доступ к секретным разработкам и производству ракет повергнутого рейха. Изучение немецкого «наследия» у нас возглавили С. П. Королев, В. П. Глушко и Б. Е. Черток. Вначале работы велись в темпе обычных разработок оборонной техники. Трагедией Хиросимы и Нагасаки США показали свою бесчеловечность в применении атомной бомбы. С началом «холодной войны» США окружили нашу страну военными авиационными базами, их самолеты несли атомные бомбы и были нацелены на важнейшие промышленные центры и большие города СССР. Перед ракетчиками нашей страны возникла острейшая задача – в кратчайший срок создать носитель атомного заряда межконтинентальной дальности, способный парировать намерения предполагаемого противника атаковать нашу страну. В 1954 г. вышло постановление правительства, возлагавшее



на С. П. Королева и ряд его смежников создание баллистической ракеты межконтинентальной дальности, способной донести атомный заряд до территории США с высокой точностью поражения цели.

Ведущие конструкторы и ученые понимали, что создание такой МБР откроет возможности полетов в космос, так как первая космическая скорость практически уже будет достигнута, а последующим наращиванием энергетики и совершенствованием конструкции носителей может быть достигнута и вторая, и третья космические скорости. Но в те годы о космических полетах было говорить преждевременно, оборонная задача была абсолютно приоритетной, и лишь с созданием боевой ракеты Р-7 космос легализовался. С. П. Королев получил возможность применять ракету Р-7 в космических целях. Для начала был запущен первый в мире искусственный спутник Земли ПС-1, потрясший мир и, в особенности, наших недругов.

Поисковые работы по созданию межконтинентальной ракеты, ее двигательной установки и системы управления велись, начиная с конца 1940-х и в начале 1950-х гг. (С. П. Королев, М. К. Тихонов, В. П. Глушко, Н. А. Пилюгин и др.).

ЖИДКОСТНАЯ РАКЕТНАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

В 1950 г. Институт автоматики и телемеханики АН СССР (ныне Институт проблем управления РАН им. В. А. Трапезникова) по просьбе С. П. Королева и В. П. Глушко взял на себя выполнение исследований динамики мощного ЖРД с целью нахождения модели двигателя как объекта управления и принципов его регулирования. Эти работы возглавил Б. Н. Петров. Приоритетные результаты выполненных работ [1, 2] были доложены академиком М. В. Келдышу и Б. С. Стечкину, получили высокую оценку и легли в основу многих дальнейших работ в области управления силовыми установками жидкостных ракет, а также исследований и разработок, связанных с воздействием ЖРД на динамику происходящих в ракете процессов (например, исследование ее продольной устойчивости).

В 1954 г. Постановлением правительства Институт был включен в состав соразработчиков межконтинентальной ракеты С. П. Королева, получившей рабочее название Р-7. Научным руководителем работ был назначен академик Б. Н. Петров, главной задачей была определена проблема управления двигательной установкой ракеты пакетной схемы. В этой ракете, истоки архитектуры которой восходят к идее «эскадрильи ракет» К. Э. Циолковского, было необходимо обеспечить опорожнение баков в единый момент выключения ЖРД.

Возникла проблема терминального управления расходом топлива через воздействия на тягу и коэффициент соотношения многодвигательной установки ракеты блочной компоновки. Эта проблема была абсолютно новой, не было никаких прототипов, даже отдаленно приближающихся к решению возникших здесь новых задач.

ТЕРМИНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ТОПЛИВА – НОВЫЙ КЛАСС БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При разработке проблемы управления расходом топлива Институт были получены основополагающие результаты в создании нового класса автоматических бортовых систем – терминальных систем управления расходом топлива [3]. Используя информацию о запасах и расходах топлива и, при необходимости, элементы информации от системы управления ракетой, эти системы воздействуют на суммарный расход топлива, т. е. на тягу ЖРД и на соотношение расходов компонентов топлива. Генеральная цель их функционирования состоит в минимизации гарантийных запасов топлива, что при неизменной стартовой массе топлива позволяет использовать высвободившиеся гарантийные запасы для увеличения количества сжигаемых в ЖРД компонентов топлива, т. е. для увеличения конечной скорости ракеты. Это приводит к повышению на 10...20% энергетических характеристик носителя и, соответственно, к увеличению дальности стрельбы, массы полезного груза или высоты орбиты, на которую этот груз выводится.

Система управления расходом топлива для ракеты Р-7 была названа СОБИС – система опорожнения баков и синхронизации [4]. В дальнейшем был создан ряд поколений более совершенных систем этого класса, и они получили название СУРТ – системы управления расходом топлива.

Институтом были решены основные новые задачи в рамках проблемы создания СУРТ – исследование динамики и управляемости ЖРД, разработка принципов построения и алгоритмов работы систем, методов их проектирования и имитационного моделирования. Кроме того, Институт в те годы возглавил работы по поиску небывалых по метрологическим характеристикам датчиков уровня, которые были реализованы в ОКБ-1 и других конструкторских бюро [5], датчиков давления в газовых полостях двигательной установки [6] и др.

Институт участвовал во всех этапах разработки СУРТ и по праву взял на себя главенствующую и ответственную роль в создании этих систем не только для ракеты Р-7, но и для всех крупных бое-

вых и космических ракет нашей страны, заняв таким образом собственную нишу в строящемся здании прикладной космонавтики.

Аппаратную реализацию систем в аналоговом варианте взял на себя НИИП МАП, где главным конструктором был А. С. Абрамов, а ведущим специалистом по этим системам – Г. С. Маслов.

Новые принципы повышения энергетических характеристик ракет благодаря управлению двигательными установками были доложены на конгрессе Международной астронавтической федерации в Португалии. Доклад был опубликован в журнале Академии астронавтики США [7].

Таким образом, в итоге более чем полувековых работ, идейным вдохновителем которых был академик Б. Н. Петров, сформировалось новое направление совершенствования ракет-носителей с жидкостными ракетными двигательными установками, включающее в себя:

- разработку концепции и технических способов повышения энергетических характеристик жидкостных ракет с помощью средств управления;
- разработку математических моделей жидкостной ракетной двигательной установки как объекта управления и рациональных принципов управления;
- разработку принципов построения высокоэффективных терминальных СУРТ повышенных гибкости и надежности и алгоритмов их работы;
- создание ряда поколений серийных СУРТ, являющихся неотъемлемой частью всех мощных жидкостных ракет – от первой МБР Р-7 до проектируемых перспективных ракет-носителей («Союз-2», семейство «Ангара», «Аврора» и др.);
- обобщение результатов исследований в теории бортовых терминальных систем управления [8].

НЕКОТОРЫЕ ПАМЯТНЫЕ СОБЫТИЯ

В 1955–1956 гг. на полигоне Капустин Яр Институт участвовал в первых испытаниях системы опорожнения баков (СОБ) в полетах ракеты-лаборатории М5-РД С. П. Королева. Испытания прошли успешно при большом внимании С. П. Королева к их результатам. Результаты показали правильность выбранного принципа действия системы, достаточную ее надежность и выполнимость заданных требований по терминальной точности и отклонению коэффициента соотношения компонентов в процессе регулирования. Это позволило уверенно включить в боевую цепь ракеты Р-7 систему СОБИС.

В августе 1957 г. состоялся первый удачный пуск ракеты Р-7.

4 октября 1957 г. Институт участвовал на полигоне Тюра-там (затем Байконур) в подготовке и

проведении запуска первого искусственного спутника Земли ПС-1.

Техническое, научное и общественно-политическое значение этого запуска чрезвычайно велико. Запуск сыграл огромную роль в предотвращении перехода «холодной» войны, раздуваемой нашими потенциальными противниками, в «горячую» между двумя мирами на нашей планете. Академик А. А. Александров в одном из своих выступлений в 1990 г. сказал, что наш первый спутник на 33 года задержал возможное начало третьей мировой войны. Действительно, запуск спутника ПС-1 бесспорно доказал наличие у нас межконтинентальной ракеты.

Основные участники работ по созданию и запуску искусственного спутника ПС-1 были щедро награждены страной. Институт как организация, внесшая значительный вклад в осуществление запуска первого искусственного спутника Земли [9], получил памятную настольную медаль в честь этого запуска. По представлению С. П. Королева, В. П. Глушко и Б. Н. Петрова Межведомственный Совет под председательством М. В. Келдыша присудил без защиты диссертаций степень доктора наук автору этого очерка и степени кандидатов наук А. Н. Чацкину и В. Н. Маркову. Отличившиеся сотрудники Института были награждены орденами и медалями, получили квартиры.

Полет Ю. А. Гагарина на корабле «Восток» 12 апреля 1961 г., этот первый выход человека в космос, показал высокий уровень нашей теоретической и практической космонавтики и явился мощным толчком к развитию пилотируемых космических полетов у нас и за рубежом. Как всегда перед ответственным пуском ракеты, Институт при подготовке к полету Ю. А. Гагарина тщательно рассмотрел свои рекомендации и провел контрольное моделирование СОБИС совместно с регулятором кажущейся скорости и СОБ третьей ступени носителя. Хранящиеся в архивах телеметрические записи процессов опорожнения баков и синхронизации в пуске 12 апреля 1961 г. показали высокое совпадение с имитационным моделированием и четкое выполнение требований технического задания.

После поразившего весь мир полета Ю. А. Гагарина академики В. А. Трапезников и Б. Н. Петров, а также автор этих строк были награждены памятной настольной медалью в честь первого полета человека в космос. Ряд сотрудников Института был награжден орденами и медалями за успешную работу по созданию терминальных систем управления для ракеты-носителя корабля «Восток».

Начало международного сотрудничества в области космонавтики связано с образованием Совета «Интеркосмос», которым руководил академик Б. Н. Петров. Блестящие научные и организационные способности Бориса Николаевича позволи-



ли ему в разгар холодной войны создать орган, который осуществлял как беспилотные (на ракетах М. К. Янгеля), так и пилотируемые (на ракетах С. П. Королева) полеты с выводением в космос научной аппаратуры как отечественной, так и зарубежной. Экипажи космических кораблей состояли из представителей как дружественных нам стран, так и стран другого лагеря. Деятельность Совета «Интеркосмос» и личные качества Б. Н. Петрова сыграли важную роль в установлении и укреплении научных контактов с зарубежными деятелями и организациями в области космонавтики.

В 1970-х гг. при большом организационно-научном участии Б. Н. Петрова была достигнута договоренность с Соединенными Штатами о совместном космическом полете кораблей «Союз» и «Аполлон», со стыковкой их в космосе и проведении ряда совместных работ. Над подготовкой к полету работали большие коллективы ученых, конструкторов и инженеров в СССР и США. Координацию работ советских коллективов осуществлял «Интеркосмос». Б. Н. Петров внес большой личный вклад в решение многочисленных организационных и научно-технических проблем. Институт в соответствии с постановлением Правительства провел контрольное моделирование своих систем для носителя «Союз», предназначенного для выведения нашего корабля по программе «Союз – Аполлон», участвовал в работах по повышению надежности и сопровождению систем при подготовке и проведении пусков. Как известно, предпринятая миссия закончилась удачно, два корабля мягко состыковались, совершили совместный полет и без замечаний осуществили расстыковку и посадку на Землю. Этот полет был первым примером содружества СССР и США в космосе.

Институту принадлежит большой вклад в создание СУРТ для крупнейшей в мире универсальной ракеты «Энергия» грузоподъемностью 100 т. Существенная новизна этой системы состояла в придании ей свойства гибкости, при котором многоблочная ракета при останове части двигателей в ряде случаев не входила в аварийное состояние и могла продолжать полет с достижением другой терминальной цели. Этой ракетой был успешно выведен на орбиту многоразовый корабль «Буран». Руководитель РКК «Энергия» Б. И. Губанов в своем письме выразил большую благодарность коллективу Института за работы по созданию нетрадиционных бортовых СУРТ для носителя «Энергия».

В последующие годы с окончанием холодной войны Институт принял участие в ряде международных космических акций. Так, высоко оценены работы Института по международному проекту «Морской старт». Здесь был выполнен цикл исследований по совершенствованию СУРТ носителя «Зенит-3SL». Внедрение предложенной Институ-

том идеологии «полной выработки» топлива повысило массу выводимой полезной нагрузки, а применение отказоустойчивых алгоритмов управления создало условия для придания носителю высокой надежности и безопасности.

В атмосфере конкуренции на коммерческом рынке пусков космических объектов Институтом была модернизирована СУРТ носителя «Протон-М» совместно с Центром им. Н. А. Пилюгина и Центром им. М. В. Хруничева. Модернизация «Протона», опирающаяся на применение бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) и новые решения по разгонному блоку, позволила повысить конкурентоспособность нашей ракеты по сравнению с французскими, китайскими и американскими носителями.

Нельзя не отдать должное прекрасной ракете С. П. Королева Р-7 («семерке»), которая в модификациях живет и работает уже почти полвека. За эти годы этой многоблочной ракетой выполнено свыше 1600 полетов с отечественными и зарубежными полезными нагрузками, в том числе с экипажами космонавтов.

Ракета Р-7 отличается изумительной архитектурой. Надо полагать, что ее перспективные «потомки» сохранят блочное построение и с более совершенными двигателями приумножат славу одной из самых удачных ракет-носителей в истории космонавтики. Не меньшее восхищение вызывает стартовое устройство, поставившее гравитацию на службу надежности и безопасности, освобождающее взлетающую ракету с минимальным риском отказа.

Институт продолжает вести значительные работы как по разработке модернизированных СУРТ на базе БЦВМ – для модернизации ракеты-носителя «Союз-2», так и по сопровождению современных вариантов ракеты Р-7.

Терминальное управление разрабатывалось в Институте также при решении задач сближения космических кораблей, мягкой посадки на безатмосферную планету, выведения баллистических ракет и др. Результаты нашли применение в реальных системах. Так, в 1966 г. была совершена мягкая посадка автоматической межпланетной станции «Луна-9» на поверхность спутника Земли. За участие в этой миссии академик Б. Н. Петров был удостоен Ленинской премии.

Обращаясь к ретроспективе работ в области космонавтики, нельзя не отметить, что Институт разделял с главными ракетчиками страны не только яркие удачи, такие, как первый спутник Земли, полет Ю. А. Гагарина, создание МБР С. П. Королевым, М. К. Янгелем, В. Н. Челомеем, В. Ф. Уткиным (в том числе МБР, названной потенциальными противниками «сатаной»), но и горестные неудачи, такие, как закрытие лунной программы Н-1, отставшей от американской программы «Апол-

лон», и трагические события октября 1960 года на Байконуре, когда при взрыве на старте ракеты Р-16 погибли многие наши друзья и коллеги по работе. Только случайно сотрудники Института, будучи на работе на Байконуре, не оказались в числе пострадавших.

За истекшие полвека совместно с промышленными организациями создано свыше 30-ти терминальных СУРТ для всех крупных жидкостных ракет, начиная с легендарной «семерки» С. П. Королева, и до перспективных проектов космических ракет-носителей. Выполняя эти работы, Институт участвовал как в создании ракетно-ядерного щита страны, так и в научных программах исследования космоса.

Сотрудники лаборатории, выполнившие описанные выше работы, получили 26 правительственных наград – орденов и медалей, в том числе пять знаков лауреата Государственной премии СССР (один сотрудник был удостоен этого звания дважды).

В эпоху расцвета работ в области ракетостроения и космонавтики в СССР с финансированием Института в этой части проблем не возникало. В последние годы, как и везде, резко сократились бюджетные ассигнования на эти работы. Они продолжают и развиваются в основном за счет хозяйственных контрактов с промышленными организациями.

ОБ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ АЛГОРИТМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Проблема надежности бортовых систем управления и безопасности управляемых объектов родилась вместе с рождением самих систем и объектов. В первые годы работы в области космонавтики Институт в основном работал над принципами построения систем и исследованием их динамики и точности. Полагалось, что чем меньше элементов содержит система и чем надежнее элементы, тем выше и надежность системы в целом. Организации, реализующие системы, использовали проверенные опытом ранее созданные системы и применяли методы аппаратного резервирования – дублирования, мажоритирования и т. п.

В последние десятилетия Институт, кроме участия в создании систем управления силовой группы ракет-носителей в основном при работе их в нормальном, номинальном режиме, уделял серьезное внимание работе систем при отказах в аппаратуре, т. е. в нештатных ситуациях. Имеется в виду как исследование аномальных процессов в системах при нештатной ситуации, так и изыскание принципов парирования влияния отказов в аппаратуре системы оцениванием состояния и последующей реконфигурацией системы. Предполагалось,

что реализованная реконфигурация при нештатной ситуации предохранит систему и, следовательно, объект управления от аварии. Реконфигурация за счет изменений в аппаратуре требует применения приборного резервирования, что влечет за собой рост аппаратного состава со всеми последствиями – ростом сложности, габаритов, массы, энергопотребления и т. п.

Выдвинутая Институтом применительно к разрабатываемым бортовым системам идея отказоустойчивых алгоритмов управления решает задачу требуемой реконфигурации лишь путем перестройки алгоритма управления, без избыточности аппаратуры. Она нашла широкое применение в бортовых системах, разработанных с участием Института.

Идеология алгоритмической отказоустойчивости относится к универсальным положениям, применимым во всех отраслях техники управления [10, 11].

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ

Современные крупномасштабные технические системы при их эксплуатации, наряду с достоинствами, заложенными в них авторами, в ряде случаев проявляют опасные свойства. Новые объекты, еще не выявившие все свои особенности, подчас выходят из-под контроля человека-пользователя, что в предельных случаях приводит к авариям и катастрофам, нередко со значительным ущербом.

С развитием техносферы растет число потенциально опасных систем и увеличивается вероятность возникновения аварийных ситуаций. Техногенные катастрофы стали знаменем века, особенно второй его половины. Чернобыльская катастрофа, ряд аварий на АЭС меньшего масштаба; трагедия в Бхопале (Индия) на химическом комбинате в 1984 г., унесшая тысячи жизней, и др.

В ракетно-космической технике наиболее тяжелы взрывы «Челленджера» и «Колумбии», катастрофа ракеты Р-16 и гибель при этом многих людей. С большими материальными потерями случились аварийные взрывы ряда крупных космических ракет-носителей в Китае, Франции, России. Человеческие жертвы, экономический, экологический и моральный ущерб сопутствовали этим несчастьям. Кроме того, в условиях рыночной конкуренции средств выведения упал рейтинг «провинившихся» ракет, расторгались выгодные контракты, возникали жесткие страховые ситуации. Люди понимали, что требуется приложить огромные усилия, чтобы резко снизить уровень опасности и не давать ей развиваться. В обиходе техники появилось понятие «риск». Возникла потребность в новой научной дисциплине – управлении риском в жизненном



цикле сложных технических систем, в частности, космических объектов — ракет-носителей. Эта дисциплина ставит много проблем управления и готова впитать в себя уже полученные и развиваемые результаты теории управления [12].

Как всякая новая научная дисциплина, управление риском находится в стадии поиска. Нарастающее количество публикаций говорит о довольно широком охвате теоретических и практических сторон проблемы. Известны работы Л. Тадемана, Д. Мартино, ряд докладов на 13-ом Всемирном конгрессе ИФАК, работы академиков К. В. Фролова, Н. А. Махутова и др.

Институт регулярно проводит конференции по проблеме управления безопасностью сложных систем. Математические подходы к управлению риском, основанные на идеях нелинейной динамики, развиваются Г. Г. Малинецким. Известны работы В. В. Кульбы, Б. Г. Волика, В. Н. Буркова и др. В работах В. Ф. Уткина, Ю. Г. Будылова, Ю. А. Соколова и В. А. Чалого-Прилуцкого исследуется широкий круг задач, связанных с риском в космонавтике.

В Институте первые фрагменты работы по управлению безопасностью (риском) в жизненном цикле сложных технических систем относятся, главным образом, к объектам класса ракет-носителей и стартовым комплексам. Выполнялись они в контакте с группами академиков К. В. Фролова и В. Ф. Уткина, начиная с середины 1990-х гг.

Институт все большее внимание уделяет проблеме безопасности, управления риском.

Безопасность — это свойство объекта не входить в состояния, опасные для собственно объекта, людей и окружающей среды. Мерой безопасности может служить риск. Понятие риска и его особенности будут рассмотрены ниже. Безопасность объекта непосредственно связана с его надежностью, вероятностью появления отказов. Но, кроме того, для оценки безопасности объекта необходимо проанализировать их влияние на функционирование объекта, выявить критические, опасные режимы и определить ущерб, наносимый неблагоприятным режимом.

Повышение безопасности объекта достигается не только совершенствованием отказоустойчивости и надежности, но и путем создания изделий с внутренней присущей им безопасностью.

Свойство внутренней безопасности может придаваться объекту путем выбора таких принципов действия и технологий его изготовления и использования, которые исключают применение опасных процессов и веществ и снижают энергонасыщенность объекта.

Последнее положение полностью не подходит к объектам типа ракет-носителей, несущих огром-

ный запас высокоэнергетических и часто токсичных компонентов топлива, питающих чрезвычайно напряженный энергетически и термически ЖРД и обладающих громадной кинетической энергией в полете.

Поэтому управление безопасностью таких объектов требует самого пристального внимания и изыскания новых подходов к построению его систем и объекта в целом.

РИСК КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Существует большое число разновидностей определения понятия «риск». Есть предположение, что оно имеет испанское происхождение: *risco* — скала (возможно, таящая опасность). По Далю, *риск* — действие наудачу. В математической теории управления *риск* — любая функция, которая может служить мерой качества управления. При обсуждении проблем безопасности риск — мера опасности. Риск представляет собой сочетание возможности опасности с размером негативных последствий проявившейся опасности. В качестве негативных последствий принимают ущерб, нанесенный человеку, техническому объекту, окружающей среде. Риск сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и размер этого события (ущерб, потери, финансовые убытки). Варьируя и комбинируя вероятность и ущерб, оценивают уровень опасности и принимают решение по управлению риском.

Оценивая вероятность и ущерб некоторыми элементарными мерами, определим, что комбинация этих мер является мерой опасности, называемой риском. В проблеме управления безопасностью риск фигурирует как виртуальный объект управления, но истинным объектом управления является собственно технический объект, создаваемый или эксплуатируемый.

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ОБЪЕКТА

Концепция управления риском (безопасностью) в жизненном цикле объектов ракетно-космической техники исходит из приоритета критерия безопасности, учитывающего техногенную, социально-экономическую и экологическую составляющие риска. Разработаны нетрадиционные варианты облика ракеты, повышающие собственную безопасность объекта, методы придания гибкости и устойчивости функционированию объектов при отказах, в неблагоприятных из-за внешних воздействий ситуациях, развит терминально-эволюционный подход к управлению технологией создания безопасных объектов.

Охват согласно излагаемой концепции управления всех этапов жизненного цикла позволяет наиболее полно использовать возможности управляющих воздействий и рационально распределять управление по этапам. Так, например, в ракетно-космической технике в наше время преобладающую долю операций, повышающих надежность и безопасность объекта и его составляющих, выполняют в наземных и стендовых условиях. Опыт показал, что по сравнению с прежними принципами отработки, с преобладанием летных испытаний, требуемая надежность и минимальный риск достигаются при числе пусков почти на порядок меньше. Как правило, при этом сокращается полное время, а в ряде случаев и стоимость создания объекта.

Стержнем предлагаемой концепции является выбор безопасности как основного критерия в процессе создания и эксплуатации объекта. Разумеется, другие критерии, такие, как стоимость объекта, его эксплуатационные характеристики (например, грузоподъемность, темп подготовки к пуску) также принимаются во внимание. Но все же главным остается минимизация опасности эксплуатации объекта для жизни людей и сохранности природной среды.

Естественно, что другие показатели объекта могут при этом потерпеть ущерб.

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

В силовой цепи жидкостной ракеты важную роль играет так называемая система подачи топлива. Она регламентирует подачу компонентов топлива из баков на входы в насосы ЖРД. До сего дня системы такого назначения строятся, в основном, на основе пневмогидравлических элементов и называются пневмогидравлическими системами подачи (ПГСП). Центральная задача ПГСП – управление давлением наддува топливных баков, которое необходимо выдерживать в достаточно узком коридоре. Верхняя граница коридора определяется механической прочностью материала стенок и устойчивостью тонкостенного бака в целом лишь при достаточном давлении внутри него. Нижняя граница определяется необходимостью поддерживать антикавитационный режим, требующий достаточно высокого давления на входе в насосы ЖРД. Кавитация ведет к аварии ЖРД.

Управление наддувом является программным, так как по мере расходования топлива увеличивается объем «подушки» – объема газа над поверхностью жидкости. Кроме того, при формировании траекторий космического полета приходится не один раз включать и выключать ЖРД. Работа сис-

темы наддува сопровождается теплообменом между ее элементами, химическими процессами при контакте газа с жидкостью, диффузией, испарением и др.

В составе всех существующих жидкостных ракет ПГСП содержит контрольную и управляющую части одного типа. Это сигнализаторы давления порогового типа, электропнеumo- и пироклапаны, пневморегуляторы и дренажно-предохранительные клапаны. В совокупности эти элементы образуют управляющую систему прерывистого действия. Недостаток ее состоит в сложности и ограниченных возможностях перестройки программы работы при изменении режима ЖРД в полете. Кроме того, системы полетной диагностики существующих ПГСП неэффективны в должной мере, что снижает надежность и безопасность ракеты.

Процессы поддержания давления наддува в такой релейной системе носят колебательный характер, что снижает надежность электропневмоклапанов и качество регулирования. Снять эти недостатки в применяемом наборе элементов очень сложно.

Учитывая, что, начиная с 1960-х гг., бортовые системы управления движением реализуются на цифровой технике, и БЦВМ достигли высокого совершенства функционирования и программной надежности, представляется своевременной и рациональной реализация ПГСП средствами цифровой техники.

В Институте совместно с Центром им. Хруничева выполнена работа по построению новых технологий систем подачи топлива [13]. Алгоритмы управления реализуются на БЦВМ, применяются новые элементы в измерительном тракте системы – непрерывные датчики давления для измерения давления в подушках и в шаробаллонах с гелием. В качестве исполнительных органов применяются непрерывные (или дискретные с малой дискретностью) регуляторы расхода рабочего тела (гелия). Новшества дают ряд преимуществ. Через БЦВМ осуществляется единение с бортовым комплексом управления. В работе [13] дано развернутое описание структуры и преимуществ цифровой ПГСП, характеристик объекта управления, методики синтеза и анализа алгоритмов системы с приданием им свойства отказоустойчивости, а также рассмотрены алгоритмы фильтрации, выбор закона управления наддувом, параметры системы и вопросы диагностики отказов в системе.

Примененная впервые для реализации ПГСП бортовая ЦВМ и новые элементы системы (датчики давления непрерывного типа, непрерывные исполнительные устройства) позволяют повысить качество регулирования. Возможность бортовой диагностики, сокращение числа срабатываний электропневмоклапанов и отказоустойчивость алгоритмов



повышают надежность системы и благоприятно влияют на безопасность ракеты-носителя.

Новые технологические решения ПГСР с опорой на применение БЦВМ знаменуют переход к новому поколению систем подачи топлива в ЖРД и рекомендуются для внедрения в двигательных установках перспективных ракет.

Отметим, что методика компьютерной обработки системы ПГСР и применение аналогово-цифрового комплекса сокращают цикл создания системы и объем натурной отработки на стендах и в полете. Это соответствует духу времени в подходе к отработке ракет [14].

Наиболее важным результатом по разработке новых технологий создания систем подачи топлива в ЖРД следует считать повышение безопасности носителя и снижение риска аварий в нештатных ситуациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт, накопленный в течение полувека работы в области практической космонавтики, позволил Институту участвовать во многих важнейших проектах и разработках для объектов племды отечественных конструкторов-первопроходцев – С. П. Королева, М. К. Янгеля, В. Н. Челомея, В. Ф. Уткина, Д. И. Козлова, Н. А. Пилюгина и др.

Институт продолжает и развивает эти работы, активно участвуя в совершенствовании новых перспективных ракет-носителей – повышении их энергетических характеристик и безопасности и, как следствие, повышении рейтинга отечественных ракет-носителей на коммерческом рынке выведения на космические орбиты полезных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Б. Н., Портнов-Соколов Ю. П., Михайлов Н. Н., Пустошкина М. В. Автоматическое регулирование ЖРД. Отчет по НИР. – М.: ИАТ АН СССР, 1951.

2. Портнов-Соколов Ю. П. Мощная жидкостная ракетная двигательная установка как объект регулирования и разработка рациональных методов ее автоматического регулирования: Дисс канд. техн. наук. – М.: ИАТ АН СССР, 1954.
3. Портнов-Соколов Ю. П., Присс Г. М. Предыстория бортового комплекса систем управления ракеты Р-7 // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 6.
4. Портнов-Соколов Ю. П. Принципы построения и этапы создания энергоповышающей системы управления расходом топлива (СОБИС) ракеты-носителя Р-7 // Сб. науч. тр. Ин-та истории естествознания и техники РАН. – М., 1998. – С. 31–42.
5. Андриенко А. Я., Балакин С. В., Ломтев С. М., Портнов-Соколов Ю. П. Проблема измерения уровня топлива на борту жидкостной ракеты // Датчики и системы. – 2003. – № 6.
6. Завадский В. К., Иванов В. П., Портнов-Соколов Ю. П., Учайкин Н. Н. Бортовая система измерения давления повышенной точности // Датчики и системы. – 2002. – № 12.
7. Petrov B. N., Portnov-Sokolov Yu. P., Andrienko A. Ya. Control aspects of efficient rocket propulsion systems // Acta Astronautica. – 1977. – Vol. 4, № 11-12.
8. Петров Б. Н., Портнов-Соколов Ю. П., Андриенко А. Я., Иванов В. П. Бортовые терминальные системы управления (принципы построения и элементы теории). – М.: Машиностроение, 1983.
9. Королев С. П. Творческое наследие. Избранные труды и документы. – М.: Наука, 1980. – С. 362.
10. Волков В. Я., Гладков Ю. М., Завадский В. К., Иванов В. П. Принципы и алгоритмы определения оксигинации по измерениям пульсоксиметра // Медицинская техника. – 1993. – № 1. – С. 16–21.
11. Волков В. Я., Гладков Ю. М., Завадский В. К., Иванов В. П. Повышение достоверности и точности пульсоксиметрии путем использования встроеной экспертной системы // Медицинская техника. – 1993. – № 13. – С. 14–18.
12. Портнов-Соколов Ю. П. Управление риском – приоритетная дисциплина теории управления XXI века // Датчики и системы. – 2003. – № 11.
13. Гордеев В. А., Жуков В. А., Завадский В. К., Иванов В. П., Портнов-Соколов Ю. П. Новые технологии построения пневмогидравлических систем подачи топлива в ЖРД // Датчики и системы. – 2002. – № 9.
14. Недайвода А. К. Теоретические основы натурной отработки ракет-носителей. – С.-Пб.: Политехника, 1996.

☎ (095) 334-87-60

☎ (095) 334-88-71



ABSTRACTS

Portnov-Sokolov Yu.P.

SOME WORKS IN ASTRONAUTICS PERFORMED AT THE INSTITUTE OF CONTROL SCIENCES – A BRIEF SURVEY

The paper overviews the formation and development of the Institute's works on liquid-propellant engines as control plants, terminal systems of propellant control for liquid-propellant missiles, and new technologies of propellant feed systems. The problem of missile and space objects safety and risk control in the life cycle of this class of systems is considered. – P. 66.