

Космическая энергетика и космические электроракетные двигательные системы - актуальные проблемы создания и обеспечения качества, высокие технологии  
(Материалы секции 4)

**ИНЖЕНЕР, КОНСТРУКТОР, УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ**

*Е.А.Яковлев, А.П.Белоусов  
(МАИ)*

Доминик Доминикович Севрук прошел суровую жизненную школу, испытав репрессии, жестокость и деспотизм существовавшего государственного строя. Ему пришлось работать в заточении в лагере на Колыме, а затем, в годы Отечественной войны, за колючей проволокой в ОКБ-ГДЛ, которым руководил крупный отечественный специалист в области ракетного двигателестроения В.П.Глушко.

В 1940 году ОКБ-ГДЛ было перебазировано на Казанский авиационный моторостроительный завод, где разрабатывало самолет-ные ракетные установки. В ОКБ-ГДЛ были созданы первоклассные научные инженерные конструкторские и производственные кадры. Заместителями главного конструктора В.П.Глушко были С.П.Королев, Д.Д.Севрук и Г.С.Жирицкий, Д.Д.Севрук обладал выдающимися конструкторскими способностями, как говорят, от Бога.

С.П.Королев и Д.Д.Севрук принимали непосредственное участие в летных испытаниях самолет Пе-2Р с ЖРД РД-1ХЗ в качестве бортинженеров. За достигнутые успехи ряд сотрудников ОКБ-ГДЛ в 1945 году был отмечен правительственными наградами: ордена Трудового Красного Знамени были вручены главному конструктору В.П.Глушко и его заместителю Д.Д.Севруку.

Д.Д.Севрук с 1945 года начал заниматься учебно-педагогической работой: в 1945 году в Казанском авиационном институте (КАИ) была создана первая в нашей стране кафедра ракетных двигателей. Заведующим кафедрой был назначен В.П.Глушко, а его заместителем Д.Д.Севрук..

В послевоенные годы Д.Д.Севрук занимает ряд ответственных постов, руководит научными и производственными коллективами, разрабатывает и создает образцы ракетно-космической техники.

В 1956 году он был приглашен на работу по совместительству на 2-й факультет МАИ. С тех пор он активно участвует в подготовке инженерных и научно-педагогических кадров по ракетным двигателям и космическим энергоустановкам в МАИ.

Став в 1972 году заведующим кафедрой 208 МАИ, Д.Д.Севрук много внимания уделил совершенствованию и развитию учебного процесса, разработке актуальных проблем НИР. Д.Д.Севрук в соавторстве создал два фундаментальных учебника по космическим энергетическим и двигательным установкам. Он являлся председателем двух Специализированных советов.

Доминик Доминикович Севрук был одним из организаторов и руководителей секции "Энергетические установки и электроракетные двигатели" на научных чтениях по космонавтике. На VII и VIII научных чтениях в 1983 и 1984 гг. была организована подсекция, а начиная с IX научных чте-

ний (1985 г.) подсекция была преобразована в самостоятельную секцию.

На заседаниях секции рассматривался широкий круг вопросов, относящихся к бортовым энергетическим системам и двигательным установкам космических летательных аппаратов.

За период с 1983 по 1994 г. на заседаниях секции были заслушаны и обсуждены доклады по актуальным и перспективным направлениям космических энергетических и двигательных установок.

На заседаниях секции царил творческая, доброжелательная атмосфера, создаваемая и поддерживаемая Д.Д.Севруком, который очень внимательно слушал докладчиков, мгновенно схватывал самое главное, активно поддерживал новое, прогрессивное и помогал устранять недостатки.

Тактичный и деликатный, он никогда не старался явно показать свои знания и опыт, которые у него были поистине энциклопедическими. Д.Д.Севрук выступал с интересными докладами по актуальным проблемам ракетно-космической техники.

Бережно и с большим уважением Доминик Доминикович относился к славным страницам истории отечественной ракетно-космической науки и техники.

На XVI научных чтениях он выступил с докладом "Сергей Павлович Королев - трудные годы жизни и совместной работы".

Д.Д.Севрук с большим интересом относился к разработке новых направлений, важных для прогресса ракетно-космической техники.

Д.Д.Севрук с 1983г. руководил секцией "Энергосиловые установки космических аппаратов" на научных чтениях Ф.А. Цандера. Эта секция также работала очень эффективно



и собирала на свои заседания многих специалистов в области космических энергетических и двигательных установок,

Д.Д.Севрука отличали интеллигентность, доброжелательность, внимательность, исключительная добросовестность и глубокая человеческая порядочность. Он был человеком твердых принципов, обладал смелостью и большой силой воли. Для Д.Д.Севрука была всегда характерна особенная внешняя подтянутость и собранность буквально во всем - в манере вести беседы, в одежде и т. д. Он был заядлый путешественник-байдарочник, страстно любящий природу и с упоением рассказывающий о своих впечатлениях от походов. Дома он очень любил мастерить и делал это превосходно.

В нашей памяти Доминик Доминикович Севрук навсегда остался жизнерадостным, светлым человеком с доброй улыбкой, неиссякаемой фантазией и увлеченностью новыми идеями.

### **Д.Д. СЕВРУК И РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ 208**

*И.П.Назаренко  
(МАИ)*

Д.Д.Севрук был одним из тех работников промышленности, кто поддержал в 1963 году создание в МАИ новой кафедры - кафедры космических энергосиловых установок. В дальнейшем, являясь руководителем института двигателей, он активно участвовал в формировании направлений научных исследований новой кафедры. Когда в 1972 году, после смерти первого заведующего кафедрой А.В.Квасникова, Д.Д.Севрук возглавил кафедру, научно-исследовательский отдел кафедры имел численность более двухсот человек, четкую структуру и сформировавшиеся направления исследований.

С приходом Д.Д.Севрука произошла некоторая переоценка приоритетов: если раньше основной упор делался на освоение новых площадей и создание установок, то теперь большое внимание стало уделяться созданию нормальных условий труда, оборудованию инженерных и вспомогательных помещений.

Как опытный работник промышленности, привыкший видеть проблемы, стоящие при создании изделия, в их взаимосвязи, Д.Д.Севрук стал инициатором появления на кафедре нового научного направления, связанного с вопросами системного проектирования солнечных и ядерных энергоустановок и решения экологических проблем, возникающих при их эксплуатации.

За период 1972-1987 г.г., когда Д.Д.Севрук возглавлял кафедру, ученые кафедры были удостоены звания лауреатов Государственной премии СССР и двух премий Совета Министров СССР.

### **О ВКЛАДЕ Д.Д. СЕВРУКА В РАЗВИТИЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В НАШЕЙ СТРАНЕ**

*А.Ф.Штырлин  
(МАИ)*

Родился Д.Д.Севрук 2 июля 1908 года в г. Одессе, закончил Московский электромеханический институт в 1932 году, первые навыки практической и руководящей работы приобрел в ЦИАМе. Отличительные особенности его характера и дальнейшей работы: высокая техническая квалификация, многогранность интересов, неумное стремление к новым решениям, независимость творческого мышления, твердое отстаивание своей точки зрения.

Первый крупный этап его творческого пути с 1941 по 1959 г.г., т.е. около 18 лет, был связан с разработкой и ис-

питанием ракетных двигателей большой тяги на базе ЖРД с тепловым циклом ускорения рабочего тела и со скоростью истечения до 4000 м/с. Работая заместителем В.П.Глушко, он занимался разработкой самолетных ускорителей, ракет Р-1 и Р-2, стендовой базы предприятия ОКБ-456 в г. Химки для испытания мощных ЖРД. Затем работал главным конструктором ОКБ-3.

Второй этап с 1959 по 1972 гг., т.е. 14 лет, связан с разработкой электроракетных двигателей, основанных на электростатических способах ускорения рабочего тела до скоростей 5000...100 000 м/с. Под его руководством в качестве главного конструктора ОКБ "Заря" была создана космическая ядерная энергетическая установка Э-30 мощностью 50 кВт с ионными маршевыми ЭРД. Эта установка при тепловом моделировании ТВЭЛов реактора и испытаниях в двух вакуумных камерах проработала непрерывно 3 месяца.

Третий этап с 1972 по осень 1994 гг., т.е. 12 лет, Д.Д.Севрук работал заведующим и профессором кафедры 208, отдавая приобретенный опыт в ракетно-космической области при подготовке специалистов по электроракетным двигателям и космическим энергетическим установкам. Научные направления на кафедре обсуждались на расширенных заседаниях научно-технического совета в составе 25...30 квалифицированных специалистов. Проект модернизации экспериментальной базы факультета трансформировался в проект создания научно-исследовательской ядерной базы кафедры при институте атомной энергии. На всех этапах исследования коллоидных ЭРД Д.Д.Севрук поддерживал это направление, обращая внимание на низкотемпературный цикл работы двигателя.

В юбилей его 95-летия со дня рождения необходимо отметить, что работы Д.Д.Севрука внесли существенный вклад в развитие новых областей летательных аппаратов, необходимых для обороны страны и реализации перспек-



тивных космических проектов, и наряду с работами других деятелей российской науки и техники проложили путь для ее дальнейшего развития.

## **МОИ ВОСПОМИНАНИЯ О Д.Д. СЕВРУКЕ**

*Н.М.Афанасьев  
(ФГУП “Красная Звезда”)*

Впервые я встретился с Домиником Доминиковичем летом 1963 г. Он пригласил меня на беседу перед приемом на работу. Когда я вошел в кабинет, из-за стола встал очень энергичный добродушный человек, пожал мне руку и пригласил сесть. Во время беседы Доминик Доминикович очень обстоятельно расспросил меня о моей трудовой деятельности. Задавал мне самые различные вопросы. Во время этой первой беседы он произвел на меня впечатление очень умного делового руководителя с чувством хорошего юмора. После этого я был принят на работу.

В течение 1963-1965 годов мне приходилось очень часто встречаться с Домиником Доминиковичем по вопросам производственной деятельности, так как я непосредственно занимался определением технических параметров изотопных космических генераторов, разработкой и изготовлением которых занималась в то время предприятие.

Доминик Доминикович всегда глубоко вникал в существо проводимых работ. При этом проявлялись его прекрасные способности: глубокое знание технических вопросов, обширная эрудиция по многим отраслям техники. Его деловые указания и ценные советы всегда были полезны в нашей работе.

Хочу отметить, что Доминик Доминикович на технические совещания всегда приглашал непосредственных ис-

полнителей работ и очень внимательно их слушал, задавал различные деловые вопросы. Поэтому такие совещания были продуктивными. При поездке в другие организации на различные совещания он также брал с собой непосредственных исполнителей.

Иногда Доминик Доминикович был очень суровым в разговоре, но для такого поведения были причины.

Последний раз я встречался с Домиником Доминиковичем в 1976 году на защите моей диссертации в МАИ на 208 кафедре. Доминик Доминикович принял меня с большим вниманием, по-отечески.

Мне было всегда приятно встречаться с этим человеком, он оставил в моей памяти яркий прекрасный след. Я буду помнить это всегда.

### **О СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С ДОМИНИКОМ ДОМИНИКОВИЧЕМ**

*В.Ким*  
(НИИПМЭ МАИ)

Мне и возглавлявшейся мною группе, работавшей на кафедре 208 МАИ в области исследования и совершенствования стационарных плазменных двигателей (СПД), довелось работать с Домиником Доминиковичем, начиная с 1974г., в течение более 10 лет. Я являлся в эти годы ответственным исполнителем хозрасчетных тем, а Доминик Доминикович - научным руководителем этих тем. Следует отметить, что наша тематика не входила в круг непосредственных творческих интересов ДД (так все мы называли Доминика Доминиковича в неофициальной обстановке), взаимодействие с ним было чрезвычайно полезным для нас, поскольку его чрезвычайно высокая квалификация Конструктора и исключительная интуиция, а также огромный опыт работы в



промышленности и уникальный жизненный опыт позволяли ему ненавязчиво направлять нашу деятельность в рациональное русло.

Наше взаимодействие обычно проходило в форме обсуждения программ и планов работ по упомянутым темам, результатов очередных этапов этих работ и подготовленных нами технических отчетов, материалов технических совещаний по тематике СПД, отдельных технических идей, если они возникали у нас или у него. Эти обсуждения проходили достаточно регулярно, несмотря на его большую загруженность другими делами, и, если встреча была назначена, то она проходила без спешки, в спокойной обстановке, и ДД всегда выделял на нее достаточно времени. Типичной формой его влияния на ход дел были его советы по тем или иным обсуждавшимся вопросам, и ни разу за все время взаимодействия с ним я не испытал какого-либо давления с его стороны. Так что можно считать, что наше взаимодействие было чисто творческим.

Рассматриваемый период времени был периодом разработки конструкций летных образцов СПД, и кафедра 208 в лице нашей группы внесла весомый вклад в рождение этих конструкций. В качестве одного из примеров можно привести то, что на основе проведенных на кафедре исследований нами были созданы, отработаны и переданы в ОКБ «Факел» конструкторские макеты двигателей типа М-70 и М-100, которые были использованы в названном ОКБ в качестве прототипов при разработке летных образцов двигателей названных типов. Конструктивные решения, использованные при разработке этих двигателей, защищены патентами на изобретения, в том числе и международными. Названные двигатели до настоящего времени успешно работают в составе космических аппаратов и по совокупности тяговых характеристик и надежности до сих пор являются лучшими двигателями своего класса.

В упомянутых достижениях имеется и несомненный вклад Доминика Доминиковича.

### **СЛОВО О СТАРШЕМ ДРУГЕ**

*А.А.Фармаковская (МАИ)*

Когда на научном собрании вспоминают большого ученого, выдающегося конструктора, педагога Доминика Доминиковича Севрука, внесшего огромный вклад в отечественную авиацию и космонавтику, то обычно отмечают основные вехи его жизненного пути и важнейшие достижения в науке и технике.

Мне бы хотелось поделиться воспоминаниями о том, каким был этот человек в повседневной жизни, как относился к своим коллегам, друзьям, друзьям своей жены, детей, соседям. Эти отношения очень много говорят о характере человека, его человеческой сущности.

Я много лет работала вместе с Елизаветой Германовной, женой Доминика Доминиковича, мы дружили семьями, в настоящее время работаю и дружу с его сыном, Станиславом Доминиковичем. Мы с мужем часто встречались с Д.Д. (так кратко, но уважительно, называли Доминика Доминиковича практически все его друзья и коллеги) вне стен института – у них дома или на даче.

Во время долгих душевных бесед, которые мы вели, сидя на крылечке его любимого садового домика – “кубика”, я много узнавала о жизни Д.Д., его родителях, юношеских годах, годах учебы и работы. А жизнь Д.Д. была поистине удивительной! Он прошел суровую школу жизни, был репрессирован, работал в лагере на Колыме, за колючей проволокой трудился в специальном закрытом КБ вместе с такими великими конструкторами как Королев С.П., Глушко В.П. и др. Доминик Доминикович и сам был конструктором.

ром от Бога! Он не только проектировал новые ускорители, двигатели и энергетические установки, но и в повседневной жизни, для дома, для семьи, придумывал и создавал своими руками массу удивительных и полезных вещей.

Он обладал энциклопедическими знаниями, но, будучи тактичным и деликатным, никогда не выставлял напоказ свою «образованность», а мог легко и просто передать свои знания окружающим. Недаром он был профессором МАИ, много лет заведовал кафедрой и многих молодых людей научил, как надо жить и работать.

Д.Д. много путешествовал, любил отдыхать «по-робинзонски», на природе – плавать на байдарке, жить в палатке. А как он увлеченно потом рассказывал о своих походах!

Я горжусь тем, что могу назвать Доминика Доминиковича своим старшим другом.

### **ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Е.К.Дьяков (НПО “Луч”),  
В.А.Павишук (ФГУП РНЦ “Курчатовский институт”),  
В.П.Сметанников (НИКИЭТ),  
Ш.Т.Тухватулин  
(Национальный ядерный центр Республики Казахстан)*

С 1991 г. в связи с резким сокращением финансирования и переводу работ по космической ядерной энергетике со стадии ОКР в стадию НИР экспериментальные работы, как по ЯРД, так и по ЯЭУ на базе технологий ЯРД были существенно уменьшены. Проводимые в последующие годы работы определялись «Концепцией развития космиче-



ской ядерной энергетики в России», одобренной постановлением правительства РФ от 2 февраля 1998 г. №144, и рядом Государственных, межведомственных и отраслевых программ. Важной составляющей выполняемых исследований явились работы в рамках международного сотрудничества России с США, европейскими странами, Китаем и др. В частности, задача осуществления пилотируемой экспедиции на Марс исследовалась в рамках ряда проектов Международного научно-технического фонда (МНТЦ) таких, как выполняемый в настоящее время проект МНТЦ № 2120 «Разработка ключевых технических средств для пилотируемых планетных миссий».

Одной из основополагающих проблем в современных условиях является проблема наземной отработки ЯРД, поскольку невозможна отработка с открытым выхлопом в атмосферу, как это делалось ранее и в СССР, и в США. Важнейшим компонентом этой проблемы является необходимость утилизации отработавшего в реакторе водорода. Основой для решения этой проблемы может быть успешный многолетний опыт эксплуатации на реакторе ИГР контура приема, охлаждения и накопления водорода с расходом 0,5 кг/с. Учитывая этот опыт и дальнейшие планы работ по технологиям ЯРД сформулировано предложение по системе закрытого выхлопа для утилизации 5-6 т водорода с интенсивностью его поступления до 1,5 кг/с. Успешное реализация такого проекта позволит обрабатывать реакторы ЯРД с тягой 5-10 т. В целом этап наземной отработки целесообразно проводить на пониженной мощности и по укороченной циклограмме работы реактора, сократив тем самым радиационно-опасные испытания до допустимых пределов. Завершающие комплексные испытания ядерной двигательной или энергодвигательной (бимодальной) установки могут проводиться в космосе, на ядерно- и радиационно-безопасных орбитах.

**ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД –  
ПЕРСПЕКТИВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ И ЕДИНОЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

*М.И.Киселёв, В.И.Пронякин  
(МГТУ им. Н.Э.Баумана)*

Развиваемый на кафедре МГТУ им. Н.Э.Баумана «Метрология и взаимозаменяемость» подход к информационно-метрологическому обеспечению полного жизненного цикла машин и механизмов на основе прецизионного хронометрического контроля фазы рабочего цикла открыл новые возможности изучения и таких автономных электромеханических систем, как, например, бортовой моментный привод – редуктор. При этом удастся регистрировать индивидуальные особенности динамики каждого экземпляра изделия и определять «хронометрический отклик» системы на вариации конструкторских и технологических параметров, а на их основе получать исходные данные для оценки технического состояния функционирующих устройств. Впервые данные результаты были получены при конструкторско-технологической обработке (с целью сокращения объёма натуральных и приёмо-сдаточных испытаний) бортовых часовых механизмов. Рекордная стабильность технических средств хронометрии позволяет оценивать правильность функционирования изделия, изучать деградацию параметров конструкции в процессе ее эксплуатации, прогнозировать остаточный ресурс и с помощью компактных встроенных систем фазохронометрического контроля обеспечивать аварийную защиту ходовых частей энергосиловых

установок летательных аппаратов, в том числе вертолетов. Внедрение полученных результатов на конкретных объектах требует разработки уточнённых многофакторных математических моделей их функционирования. Такие модели, создаваемые в хронометрическом представлении, идентифицируются на этапе экспериментальных исследований (с последующим уточнением в процессе эксплуатации) и служат основой информационно-метрологического обеспечения на каждом этапе жизненного цикла объекта.

Аналогичный подход, открывает принципиально новые возможности повышения надежности наземного транспорта и энергетики.

В связи с сокращением ресурса генерирующих мощностей единой энергетической системы страны приобретает все большую актуальность задача создания единой системы измерительно-вычислительного прогнозирующего мониторинга технического состояния турбоагрегатов, и прогноз технического состояния генерирующих мощностей в рабочих режимах, позволяющий перейти от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонту турбоагрегатов по фактическому состоянию.

**О ВЛИЯНИИ ВРЕМЕНИ ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО  
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА  
С НИЗКОЙ ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЫ НА ОРБИТУ  
ЛУНЫ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ БОРТОВОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ  
УСТАНОВКИ**

*А.П.Белоусов, В.В.Багдасарьян  
(МАИ)*

Одной из перспективных задач, стоящих перед жителями Земли при освоении космического пространства, является



ся изучение нашего ближайшего естественного спутника – Луны.

Полет на орбиту Луны целесообразно осуществлять в несколько этапов: сначала с помощью ракеты-носителя (РН) выводится космический аппарат (КА) на низкую околоземную орбиту  $H_0=250$  км, а затем на промежуточной орбите высотой  $H_1$  происходит выключение разгонного блока (РБ) с жидкостно-ракетным двигателем, в дальнейшем РБ отделяется от КА и полёт КА продолжается с помощью электроракетных двигателей (ЭРД), находящихся в составе бортовой энергосиловой установки (ЭСУ).

В данной работе предлагаются использовать ЭРД 2-х типов – стационарные плазменные (СПД) и разночастотные ионные (РИТ).

В качестве критерия оценки оптимальности выбираемых параметров ЭСУ рассматривается возможная полезная масса  $M_{пл}$ , доставляемая на орбиту Луны в течение времени полета  $\tau_n$  с помощью РН “Зенит”.

В процессе проведения расчетов величина  $\tau_n$  изменялась от 37 до 400 сут., а  $H_1$  от 2000 км до 110000 км.

Величины оптимальных параметров ЭСУ существенно зависят от времени  $\tau_n$  и высоты  $H_1$  из-за перераспределения вклада в массу, выводимую РН на высоту  $H_0$  (равна 13,7т), её отдельных составных частей: РБ и ЭСУ (масса ЭСУ  $M_{ЭСУ}$  включает в себя массу источника энергии  $M_{ИЭ}$ , массу рабочего тела ЭРД  $M_{р.т.}$ , массу двигательных блоков  $M_{ДВ}$  и ряда других подсистем).

Например, для ЭСУ с СПД-290 при  $\tau_n = 37$  сут. и  $H_1=110000$  км  $M_{пл} = 2016$  кг,  $M_{ЭСУ} = 587$  кг,  $M_{ИЭ} = 284$  кг, а для  $\tau_n = 200$  сут. и  $H_1=10000$  км  $M_{пл} = 3300$  кг,  $M_{ЭСУ} = 1373$  кг,  $M_{ИЭ} = 448$  кг.

Аналогично для ЭСУ с РИТ-35 при  $\tau_n = 150$  сут. и  $H_1=10000$  км,  $M_{пл} = 2736$  кг,  $M_{ЭСУ} = 1973$  кг,  $M_{ИЭ} = 824$  кг, а

для  $\tau_n = 400$  сут. и  $H_1 = 10000$  км,  $M_{пл} = 3581$  кг,  $M_{ЭСУ} = 1092$  кг,  $M_{ИЭ} = 318$  кг.

Для СПД-200 при  $H_1 = 10000$  км переход с  $\tau_n = 200$  сут. на  $\tau_n = 250$  сут. изменяет  $M_{пл}$  с 3303 до 3482 кг,  $M_{ЭСУ}$  с 1370 до 1190 кг и  $M_{ИЭ}$  с 392 до 329 кг.

На основании проведенных расчетов можно выбрать не только оптимальные параметры ЭСУ, но и оптимальную структуру энергосиловой установки, зависящую от типа используемого ЭРД, а также предложить оптимальную стратегию полета на орбиту Луны за счет выбора определенных значений времени полета и промежуточной высоты  $H_1$ .

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ИНФРАКРАСНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ**

*К.Г.Мягков, А.Б.Митрофанов, А.Ю.Орлов, М.И.Якушин,  
Г.Д.Баранов, Л.А.Квасников  
(НИИПМЭ МАИ)*

Работа посвящена разработке, созданию и оптимизации конструкции термофотоэлектрических генераторов с изотопным, солнечным и углеводородным источником инфракрасного излучения. Исследовались термофотоэлектрические преобразователи на основе GaSb (0,3 Вт/см).

Основной решаемой задачей при разработке термофотоэлектрических генераторов являлось согласование спектров инфракрасных излучателей и спектра квантового выхода термо фотоэлектрических преобразователей, разработка и исследование материалов с заданным спектром излучения.

Проведена экспериментальная работа по получению результатов оптимизации конструкции термофотоэлектриче-

ского генератора. Разработана технология и изготовлены излучатели из различных материалов.

Представлена экспериментальная модель термофотоэлектрического генератора с излучателем на основе горелки инфракрасного излучения. На этой модели проводится работа по оптимизации температурных полей и по согласованию спектров излучателя и приемника.

Проводились испытания лабораторного макета термофотоэлектрического генератора. В результате испытаний исключены влияние атмосферы на излучение и поглощения в инфракрасном диапазоне спектра. Определены геометрические критерии конструкции термофотоэлектрического преобразователя, которые соответствуют практически идеальным условиям геометрической оптики.

Исследованы возможности согласования фазово-граничных свойств излучателя и приемника в термофотоэлектрических элементах. Получены согласованные параметры фазово-граничных свойств. Анализ возможности согласования спектров излучения и поглощения элемента термофотоэлектрического генератора позволил выявить ряд материалов и технологий, обеспечивающих значительное увеличение КПД преобразования элементов термофотоэлектрического преобразователя.

Оптимизирована технология создания селективных покрытий высокоинтенсивного инфракрасного излучателя для радиоизотопного генератора с ТФЭП и получены новые селективные покрытия.

В условиях исключения потерь на переотражение и поглощение с различными керамическими излучателями получен КПД 32 - 33% с удельной мощностью до  $0,35 \text{ Вт/см}^2$ .

## **ЭМИССИОННЫЙ МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**



## **НАДЕЖНОСТИ И РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И УСТРОЙСТВ**

*К.Г.Мягков, А.Б.Митрофанов, А.Ю.Орлов,  
М.И.Якушин, Л.А.Квасников  
(НИИПМЭ МАИ)*

Процессы, приводящие к нестабильности эксплуатационных характеристик материалов энергетических установок, развиваются на микроскопическом уровне, что требует использование в процессе исследований и испытаний микроскопической аналитической техники. Существенным фактором при выборе методов анализа является возможность применения их в условиях, близких к условиям работы материалов в реальных устройствах и в реальном масштабе времени.

Комплексом свойств, наиболее полно удовлетворяющим этим требованиям применительно к элементам энергоустановок, обладает метод электронной эмиссионной микроскопии, разработке вариантов которого для исследований и испытаний элементов и материалов преобразователей энергии посвящена настоящая работа.

В докладе обобщается опыт применения метода электронной эмиссионной микроскопии к исследованию термоэмиссионных материалов, применяемых в электронной технике и энергетических устройствах, и для исследования физико-химических процессов, влияющих на эмиссионные характеристики поверхностей. Описывается история применения метода электронной эмиссионной микроскопии в науке и технике.

Приводятся конструктивные особенности электростатического термоэмиссионного микроскопа, его характеристики и методика определения работы выхода локальных

участков поверхности и всей исследуемой поверхности. В настоящее время работы проводятся на электронной эмиссионной микроскопии с системой микроканального формирования изображения. Разработаны дополнительные устройства для исследования элементов и узлов термоэмиссионного реактора-преобразователя в условиях, приближенных к натурным.

Метод электронной эмиссионной микроскопии позволяет исследовать эволюцию физико-химических свойств конструкционных материалов на локальном уровне и на основании полученных данных обоснованно разрабатывать методы испытаний, прогнозирования ресурса, диагностики состояния, отрабатывать технологию изготовления элементов энергетических установок и других устройств энергетического и электронного машиностроения.

Демонстрируются способы моделирования рабочих условий для получения достоверной информации, достаточной для обоснованного прогнозирования работоспособности элементов. Приводятся результаты исследования тугоплавких материалов, жаростойких сплавов, сложных соединений и их взаимодействия с конструкционными материалами.

При моделировании максимально возможного количества факторов воздействия в реальных условиях работы материалов, включая контакт одной из поверхностей с жидкометаллическим теплоносителем, определяются параметры диффузионных процессов в материалах коллекторного узла термоэмиссионного реактора-преобразователя.

Получены результаты ускоренных сокращенных испытаний для оценки надежности и ресурса по заданным параметрам, в частности, по стабильности работы выхода для эмиттерных оболочек, полученных различными изготовителями.

## **РОЛЬ ФАЗОВОГРАНИЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

*К.Г.Мягков, А.Б.Митрофанов, А.Ю.Орлов,  
М.И.Якушин, Л.А.Квасников  
(НИИПМЭ МАИ)*

В основу технологии космического ядерного энергетического машиностроения XXI века должны быть заложены методы, принципы, концепции увеличения эффективности, надежности и ресурса, разработанные в результате тщательных исследований электронно-ионных процессов на границе раздела фаз вещества, создание физико-химических моделей отказов.

Фазовые границы и происходящие на них процессы определяют наиболее важные характеристики генераторов и преобразователей энергии, в частности, эффективность преобразования энергии и надежность устройств. Это относится ко всем видам двигателей и преобразователей энергии. В качестве примера можно привести контакт газа и пара с лопатками турбин или поршнем в двигателях, контакт электролита с электродом в топливном элементе, контакты электродов термоэмиссионного преобразователя с плазмой, контакты материалов в термоэлектронном преобразователе энергии.

Вследствие контактов различных фаз возникают сложные пространственные и временные образования: двойной электрический слой в электрохимических устройствах, барьеры в полупроводниковых контактах, приэлектродные слои в термоэмиссионных преобразователях, пограничные слои при взаимодействии твердого тела с жидкой или газообразной фазой. Происходят сложные процессы: обмен энергией при взаимодействии молекулярной, атомной,



электронной и ионной составляющих взаимодействующих фаз. Адсорбция, десорбция, химическое взаимодействие, кавитация, диффузия, коррозия и многие другие процессы являются видимыми проявлениями контакта разнородных фаз.

Приводятся конкретные примеры и результаты влияния процессов на границе твердое тело-плазма на эффективность работы термоэмиссионного преобразователя, связь обширной экспериментальной информации с возможностью получения новых конструктивных решений преобразователей энергии. Обуславливается возможность прогнозирования надежности, ресурса по результатам ускоренных сокращенных испытаний с фиксацией явлений на границах раздела фаз конструкционных материалов.

Наблюдались и исследовались специфические электронные явления протекания многочисленных процессов на поверхности и границах разделов фаз. К этим явлениям относятся: диффузия компонентов и примесей материалов к поверхности исследуемого материала; различные виды поверхностной диффузии, в частности, в условиях градиента температуры вдоль поверхности; десорбция элементов и веществ с поверхности исследуемого образца; химические реакции на поверхности твердого тела между различными веществами и с самим исследуемым материалом; изменения топологии твердого тела в процессе различного рода воздействий, процессы изменения кристаллической структуры исследуемых образцов материалов, в частности, рекристаллизацию; образование и исчезновение высокотемпературных фаз, существующих в определенных температурных, концентрационных и временных диапазонах; диффузионные процессы в твердом теле и другие.

Приводятся примеры применения метода электронной эмиссионной микроскопии для определения параметров стабильности, устойчивости, химических, фазовых, струк-

турных свойств различных материалов. Получены характеристики термической стабильности структуры, образование новых и исчезновение уже сформированных фаз.

## **СОВРЕМЕННАЯ ПЕРИФЕРИЙНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ С ЖИДКИМ ЩЕЛОЧНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ**

*А.С.Костяев, Е.А.Тейшев  
(ЗАО “Индепендент Пауэр Технолоджис”)*

Прямое преобразование химической энергии топлива в электричество с помощью топливных элементов обладает двумя существенными преимуществами по сравнению с традиционными технологиями, в которых присутствует стадия сжигания топлива:

- отсутствие вредных выбросов в окружающую среду (побочные продукты процесса чистая вода и тепло);
- значительно более высокая эффективность преобразования топлива.

Этот параметр часто связывают с нагрузочными характеристиками самих топливных элементов и таким образом оценивают эффективность преобразования топливных элементов того или иного типа.

В то же время, топливные элементы способны обеспечивать длительный ресурс в том случае, если температура, водный баланс и концентрация неактивных примесей в реагентах поддерживаются на оптимальном уровне.

Это достигается с помощью периферийных систем, которые сами являются потребителями электрической энергии.

Величина потребления электроэнергии на собственные нужды может существенно влиять на действительный КПД энергоустановок на топливных элементах.

Новые схемные решения в электрохимических генераторах с жидким щелочным электролитом в сочетании с оптимизированными по энергопотреблению агрегатами периферийных систем позволили добиться наименьших суммарных энергетических затрат на собственные нужды в сравнении с энергоустановками на основе топливных элементов других типов.

**КОСМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЗЕМЛИ ОТ  
АСТЕРОИДНО-КОМЕТНОЙ ОПАСНОСТИ.  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ПЛАНЕТАРНОЙ  
ЗАЩИТЫ И  
ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ**

*А.В.Добров, А.В.Зайцев (НПО имени С.А.Лавочкина),  
П.П.Кузнецов (РК «Реновация»),  
Л.А.Латышев (МАИ),  
Н.Н.Пономарев-Степной, Н.Н.Семашко, В.А.Храбров  
(ФГУП РНЦ «Курчатовский Институт»)*

В течение последнего десятилетия XX века мировое научное сообщество, на основе анализа совокупности большого количества взаимно связанных данных различных научных направлений (астрономия, геофизика, геология, география, теория ударных волн, физика взрыва, палеонтология, археология и т.д.) осознало реальность астероидно-кометной опасности (АКО). Масштабы разрушений на Земле и их последствия, как известно, оцениваются по 10-балльной «Туринской шкале АКО». Для современного человечества даже т.н. «региональное», восьми-балльное со-



бытие (аналогичное «Тунгусскому событию» 30 июня 1908 года) представляет громадную угрозу с трудно предсказуемыми последствиями (например, «восьми-балльный удар» с неба по крупному мегаполису или по Атомной электростанции и т.п.). Частота повторения такого события столь велика, что оно вновь может произойти, строго говоря, в любой момент современной истории человечества!

В докладе рассмотрены возможные варианты последовательного развития Международной Системы Планетарной Защиты (СПЗ). В докладе наиболее подробно рассмотрен первый по срокам возможной реализации вариант СПЗ. Дано описание схемы построения и характеристики Службы перехвата (СП) опасных небесных тел (ОНТ) «восьми-балльного» масштаба.

Проработка СП выполнена на базе уже имеющихся в России и СНГ технологий.

Последующие варианты развития Международной СПЗ предназначены для перехвата «девяти- и десяти-балльных» ОНТ на «дальних подступах» к Земле /орбита Марса и далее/, для чего должен быть разработан и создан соответствующий Эшелон Долгосрочного Реагирования (ЭДР). Для этого необходимо использование ресурсов и новых технологий всех развитых стран, обладающих ракетно-космическими и ядерными средствами (Россия, США, страны ЕЭС, Китай, Япония, Индия). На околоземной орбите необходимо создать тяжелые КА-перехватчики и разгонные блоки для их выведения на гелиоцентрические орбиты перехвата ОНТ. Запуск таких КА требует высоких энергетических затрат, особенно для выведения на орбиты с большими наклонениями к плоскости эклиптики. Поэтому для их разгона необходимо использование Ядерных ракетных двигателей (ЯРД) и электроракетных двигателей /с питанием как от солнечных батарей, так и от ядерных источников энергии/. Целесообразно также использование гиперзвуко-

вых Воздушно-Космических Систем (ВКС) – например, на основе ЯРД с использованием водорода в качестве рабочего тела и т.д.

В более отдаленной перспективе /ориентировочно, начиная со второй половины XXI века/ будут использоваться пилотируемые КА с термоядерными ракетными двигателями (ТЯРД), со скоростями истечения рабочего тела (термоядерной плазмы состава D – He<sub>3</sub>) ~ 1000 км/с.

В результате, одновременно с решением основной задачи – защиты человечества от астероидно-кометных ударов даже десятибалльного масштаба, созданный Комплекс Систем планетарной защиты сыграет решающую роль в осуществлении двух других грандиозных задач:

- исследование Солнечной Системы, в том числе полеты за пределы орбиты Плутона и непосредственное исследование Облака Оорта, содержащего  $\sim 10^{14}$  потенциальных источников АКО,
- освоение ресурсов Солнечной Системы: добыча He<sub>3</sub> и полезных элементов и веществ на Луне, планетах, астероидах и кометах.

В итоге, еще раз подтвердится уже известная истина, что затраты на космические исследования многократно окупятся.

**К 40-ЛЕТИЮ ПЕРВЫХ В МИРЕ ЛЕТНО-  
КОСМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ  
ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА  
СОВЕТСКОМ АВТОМАТИЧЕСКОМ  
МЕЖПЛАНЕТНОМ ЗОНДЕ  
«ЗОНД-2» (ДЕКАБРЬ 1964 г)**

*Л.А.Пец, А.И.Симонов (РКК «Энергия» имени  
С.П.Королева),*

*В.А.Храбров (ФГУП РНЦ «Курчатовский Институт»)*

В докладе гораздо более полно и подробно, чем в первом сообщении (см. Тезисы XXI-х чтений, 1997 г), сделанном в год 90-летия С.П.Королева, изложены этапы исследований, разработка и создание в СССР именно того типа КЭРД, который впервые в мире успешно прошел летно-космические испытания в реальных условиях космического пространства, на советском космическом аппарате «Зонд-2» в декабре 1964 г.

Как известно, впервые идея КЭРД была высказана в России К.Э.Циолковским в 1911 г., а первая лабораторная модель была создана в 1929 г. В.П.Глушко. Это была модель электротермического импульсного плазменного двигателя (ИПД), рабочим телом которого была плазма, созданная в результате «электрического взрыва» проводников в камере, заполненной воздухом при атмосферном давлении.

В октябре 1957 г. С.П.Королев и И.В.Курчатов приняли важнейшее, принципиальное решение о необходимости развития интенсивных и разносторонних поисковых исследований с целью разработки создания летных вариантов КЭРД различных типов (электростатические, плазменные импульсные и стационарные) и конструктивных вариантов с широким диапазоном тяговых характеристик.

В десятках научных организаций и КБ эти исследования велись широким фронтом и весьма интенсивно.

В качестве первой реальной цели применения КЭРД в космосе С.П.Королев, величайший энтузиаст создания и применения КЭРД, поставил конкретную задачу: создать и разработать Систему Стабилизации и Ориентации (ССО) КА типа «Зонд», «Земля-Луна», «Земля-Марс-Венера». Все эти КА были близки друг другу по массо-габаритным характеристикам.

ССО должны были удовлетворять комплексу трудно совместимых требований (массо-габаритные, потребляемая



электрическая мощность, простота, надежность, определенные тяговые характеристики КЭРД и т.д.). В качестве исполнительных органов ССО должны были использоваться 3 пары «сопел» КЭРД: одна пара – ориентация по тангажу и две пары – ориентация по крену.

В результате постоянного, интенсивного и длительного сотрудничества (в течение 1960-1964 гг. ) коллективов Отдела Плазменных Исследований Института Атомной Энергии под руководством академика Л.А.Арцимовича и Отдела ОКБ С.П.Королева под руководством Б.В.Раушенбаха (в дальнейшем – академика) были созданы КЭРД оригинальной конструкции – Импульсные Плазменные Двигатели электромагнитные и электротермические, рабочее тело которых (плазма) формировалось в результате абляции твердодофазного диэлектрика (тефлон и другие диэлектрики) в мощном вакуумном разряде. Мощность разряда  $\sim 10^7$  Вт, ток  $\sim 2 \cdot 10^4$  А, длительность  $\sim 5 \cdot 10^{-6}$  с, энергия  $\sim 50$  Дж.

В докладе даны характеристики ИПД, результаты их исследования. Описана конструкция ССО КА «Зонд-2» и результаты ее летно-космических испытаний.

Известие об успешных испытаниях было сообщено ТАСС и всеми газетами СССР 19 декабря 1964 г.

С.П.Королев в газете «Правда» от 1 января 1965 г. в статье «Космические дали» дал очень высокую оценку этим первым в мире летно-космическим испытаниям КЭРД, фактически открывшим Третью Эру в развитии ракетных двигателей.

Всего можно выделить шесть эр развития РД:

- Первая Эра – ракетные двигатели на твердом топливе (ТРД) – Китай, XIII век,
- Вторая Эра – ЖРД – США, 1929 г.,
- Третья Эра – КЭРД – СССР, 1964 г.,
- Четвертая Эра – ядерные РД – ЯРД,
- Пятая Эра – термоядерные РД – ТЯРД,

- Шестая Эра – фотонные РД – ФРД.

ЯРД и ТЯРД в настоящее время разрабатываются, в том числе в рамках решения грандиозной задачи – защита Человечества от Астероидно-Кометной Опасности. Различные типы КЭРД продолжают развиваться и совершенствоваться.

В докладе подчеркивается выдающаяся роль в открытии Третьей Эры РД И.В.Курчатова, С.П.Королева, М.В.Келдыша, А.П.Александрова, Л.А.Арцимовича, Б.В.Раушенбаха, Б.Е.Чертока, М.Д.Миллионщикова, А.М.Андрианова, М.К.Романовского и других ученых, инженеров, конструкторов, техников и рабочих. Приоритет СССР в области КЭРД получил мировое признание. Вслед за ИПД в космосе начали работать, также впервые в мире, советские стационарные плазменные двигатели - СПД (1972г.).

Современному статусу ИПД в мировом «космическом» двигателестроении посвящен отдельный доклад.

**ПЕРВЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
ИМПУЛЬСНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ДВИГАТЕЛИ.  
ИТОГИ ИХ 40-ЛЕТНЕГО ПУТИ РАЗВИТИЯ:  
ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННЫЙ СТАТУС,  
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В XXI ВЕКЕ**

*Г.А.Попов (НИИПМЭ МАИ),*

*В.А.Храбров (ФГУП РНЦ «Курчатовский Институт»)*

В докладе достаточно подробно изложена история развития разработок и создания ИПД в СССР и России / с 1965 г по настоящее время/, а также в других странах: США, Западная Европа, Китай, Япония, Аргентина и др.

Особый интерес ИПД представляют как исполнительные органы в системах управления КА. Причем этот интерес в XXI веке будет постоянно возрастать в связи с нарас-

тающим темпом миниатюризации КА (создание т.н. «нано-спутников»).

В качестве примера рассмотрены: 1) использование абляционных ИПД (АИПД) в задачах стабилизации и переро- ориентации тяжелых КА (масса ~2500 кг, время жизни  $\leq 10$  лет); 2) компенсация возмущений; 3) использование АИПД в системах управления «легкими» КА; в качестве примера рассмотрена задача прецессионного поддержания орбитальных параметров солнечно-синхронной орбиты КА массой 250 кг.

АИПД являются конкурентоспособными в системах управления КА и приводят к экономии полезной нагрузки.

Приведены сравнительные характеристики АИПД (летних и перспективных лабораторных моделей), разработанных в различных странах к настоящему времени. Указаны предполагаемые направления дальнейшего совершенствования АИПД в XXI веке.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ С АНОДНЫМ СЛОЕМ (УАС) ТИПА “РАДИКАЛ”**

*Д.В.Духопельников, А.А.Юрченко  
(МГТУ им. Н.Э.Баумана)*

В работе получены вольт-амперные характеристики разряда, массовый КПД, доля ионного тока в разрядном и распределение разрядного тока в элементах конструкции технологического УАС “Радикал”. Получены тормозные характеристики ионного пучка. Проведено сравнение с двигателем с анодным слоем (ДАС) Д-100 (ЦНИИМАШ). Показано, что УАС “Радикал” значительно уступает по энерге-



тической и массовой эффективности аналогичному по устройству и размерам канала ДАС Д-100.

Технологический источник ионов "Радикал" широко применяется в вакуумно-плазменных технологиях для травления и очистки поверхности. "Радикал" выполнен по схеме ускорителя с анодным слоем без катода-компенсатора. По такой же схеме, но с катодом-компенсатором для нейтрализации ионного пучка, сделаны ионно-плазменные двигатели с анодным слоем (ДАС).

Так как ДАС создавались как двигатели малой тяги для космических аппаратов, то разработчики уделяли большое внимание их энергетическому совершенству. Массовый КПД  $\eta_m$  (коэффициент использования рабочего газа) достигал в ДАС 80-90%, доля ионного тока в полном токе разряда  $\eta_i$  85-95%, отношение средней энергии ионов к напряжению разряда  $\eta_f$  80-90%, тяговый (энергетический) КПД  $\eta_t$  65-75%.

УАС "Радикал" исследовался в следующем диапазоне рабочих параметров: напряжение разряда  $U_p=1000-4000$  В, расход аргона  $G_v=0.026-0.2$  см<sup>3</sup>/с при н.у., давление в вакуумной камере  $P_v=5 \cdot 10^{-2}-1 \cdot 10^{-2}$  Па. Исследования проводились при двух производительностях откачной системы  $S_o=70$  л/с и  $S_o=450$  л/с. Обнаружено существенное влияние скорости откачки на работу ускорителя и на параметры ионного пучка. Увеличение скорости откачки приводит к росту доли ионного тока и снижению массового к.п.д. Полученные результаты являются основой при совершенствовании и доработке технологических источников ионов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

*А.Б.Надирадзе, Е.Б.Паршина (МАИ)*

Воздействие электроракетных двигателей (ЭРД) и собственной внешней атмосферы (СВА) на космические аппараты (КА) исследуется уже много лет. Одним из факторов этого воздействия является деградация оптических характеристик функциональных поверхностей КА, возникающая в результате осаждения на поверхность компонентов СВА и продуктов распыления материалов КА струей двигателя.

Сложность прогнозирования деградации характеристик оптических покрытий связана со сложностью воздействия ЭРД и СВА на покрытия, а также с дефицитом данных по свойствам образующихся пленок.

Для того чтобы в сложившихся условиях иметь возможность прогнозировать деградацию свойств покрытий, создана двухпараметрическая модель, которая позволяет выразить свойства загрязненных оптических покрытий через толщину пленки загрязнения и свойства покрытия до загрязнения. Параметры модели могут быть восстановлены из результатов измерения коэффициентов прозрачности, отражения и поглощения солнечного или теплового излучения образцов загрязненных покрытий.

Эта модель рассматривает оптическую систему, состоящую из подложки и осадка. По мере увеличения толщины осадка, характеристики системы постепенно изменяются от характеристик подложки к характеристикам осадка. Скорость изменения характеристик пропорциональна поглощению света в пленке.

Оптические покрытия разделяются на три класса по их рабочим характеристикам: прозрачные, зеркальные и терморегулирующие покрытия. Для каждого класса покрытий приводятся соотношения для определения изменения рабочих характеристик, в которых неизвестными величинами являются коэффициенты затухания солнечного и теплового излучения, коэффициенты поглощения и отражения солнечного излучения и коэффициент теплового излучения

осадка. Эти коэффициенты предполагается определять из экспериментальных данных либо расчетным путем с использованием более сложных моделей.

Соотношения данной модели применимы, если изменение рабочих характеристик покрытий не превышает 15-20%. Рассматривать случаи большего изменения характеристик покрытий не имеет смысла, так как при такой степени загрязнения они перестают работать.

Так как получение информации о составе пленок загрязнения в настоящее время практически невозможно, предлагается различать пленки по источникам загрязнения. Для современных КА это продукты дегазации материалов КА, продукты распыления материалов КА струями ЭРДУ, выбросы ЭРДУ, выбросы микро-ЖРД. Для определения оптических характеристик пленок загрязнения необходимы результаты измерений прозрачности, отражения, теплового излучения и поглощения солнечной энергии чистых и загрязненных образцов.

С помощью предложенной модели проведены исследования свойств пленок, образованных различными источниками загрязнения, а именно: СВА Skylab, двухкомпонентным двигателем (bipropellant thruster), СПД (SPT), импульсным плазменным двигателем (PPT), алюминием.

Определены параметры модели для указанных типов пленок. Установлено, что свойства пленок, образованных продуктами распыления неорганических материалов и собственного массоотделения отличаются незначительно, что позволяет даже по имеющимся данным прогнозировать влияние пленок загрязнения на характеристики оптических покрытий.

## **ЗАМКНУТЫЕ МНОГОКОНТУРНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ДЛЯ**



## **ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА КОСМИЧЕСКИХ ЛА**

*Н.Н.Иноземцев (МАИ)*

В докладе дается описание замкнутых многоконтурных циклов и обосновывается использование их для энергетических установок космических ЛА. В этих циклах разнородные рабочие тела сжимаются отдельно в компрессорах, к ним подводится теплота (солнечный нагрев), а затем эти тела смешиваются в эжекторах с получением газовых смесей определенных теплофизических свойств и термодинамических параметров. После смешения газовая смесь расширяется в турбине до начальных параметров цикла с получением положительной работы, а затем разделяется на первоначальные компоненты для возобновления цикла. В результате в конце этих циклов вместо отводимой неиспользованной теплоты имеется газовая смесь, которую необходимо разделить, затратив определенную работу. В этом заключается положительный эффект от применения данных циклов, так как работа на разделение смеси забирается из самого цикла с верхнего уровня температур без наличия холодильника.

Отсутствие холодильника в данных циклах позволяет резко уменьшить массу энергетической установки космического ЛА, так как не требует наличия громоздких радиационных излучателей для сброса неиспользованного тепла в космическое пространство.

В докладе приведен пример энергетической установки на воде и воздухе для экологически чистого получения электрической энергии и дается оценка ее термического КПД и мощности.

**РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ - ВАЖНЫЙ ФАКТОР  
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОСМИЧЕСКИХ**

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Е.А.Яковлев  
(МАИ)*

С.П.Королев всегда придавал первостепенное значение стандартизации в ракетно-космической технике. Еще в 60-х годах XX века при разработке серии первых отечественных межпланетных космических аппаратов (КА) под его руководством на основе стандартизации была проведена глубокая унификация этих КА. Весь последующий период развития ракетно-космической техники подтвердил важность и эффективность стандартизации для обеспечения надежности КА различного назначения.

С 1 июля 2003 года вступил в действие Федеральный закон “О техническом регулировании” Техническое регулирование охватывает следующие важные вопросы: стандартизацию, метрологию, испытания, аккредитацию, подтверждение соответствия продукции нормативным требованиям и государственный надзор за выполнением этих требований.

Основная цель этого ФЗ - обеспечить создание двухуровневой системы нормативных документов, которые определяют требования к безопасности и качеству продукции, а также к ее конкурентоспособности.

Первый уровень - технические регламенты, которые содержат обязательные требования к продукции.

Второй уровень - добровольные национальные стандарты, включающие конкретные требования, которые определяют уровень качества и потребительские свойства продукции.

Таким образом, стандарты в новой системе технического регулирования приобретают статус добровольных. ФЗ устанавливает два вида стандартов: национальные и стандарты организаций. Стандарты в новых условиях призваны

помочь правильно выполнить требования технических регламентов и обеспечить качество продукции.

Важным аспектом технического регулирования является оценка соответствия продукции установленным требованиям, которая включает: испытания, измерения, подтверждение соответствия продукции нормативным требованиям, аккредитацию, контроль и надзор.

Завершающий, финальный этап оценки соответствия - документальное подтверждение соответствия установленным требованиям (выдача сертификата соответствия или декларация о соответствии продукции).

В составе доказательной базы подтверждения соответствия может быть использован результат оценки системы менеджмента качества т.е. сертификат, подтверждающий, соответствие действующей системы менеджмента качества требованиям международных стандартов ИСО серии 9000 (версия 2000 года). В этой новой системе международных стандартов использован “процессный подход”.

В современных условиях исключительно важное значение имеет создание глобальной системы стандартизации и на ее основе глобальной системы измерений (глобальной метрологической системы).

Сейчас идет формирование глобального информационного общества на основе информационных и коммуникационных технологий и использованием цифровой электроники. Развивается концепция “ван-степ-тест”, т.е. однократных измерений, результаты которых должны признаваться в глобальном масштабе, а для этого необходима гармонизация нормативных документов и обеспечение единообразия оценки результатов испытаний.

Большую роль играют международные стандарты, которые разрабатываются ИСО, МЭК и Международным союзом электросвязи (МСЭ). Эти стандарты создаются в соот-



ветствии с принципами Всемирной торговой организации (ВТО).

Метрология - важнейшее средство управления в технической сфере. Поэтому необходимо обеспечить опережающее развитие ее эталонной и материально-технической базы.

Основу нормативной базы ГСИ должны составить метрологические технические регламенты (МТР), построенные на базе директив ЕС, международных документов и рекомендаций МОЗМ, стандартов ИСО и МЭК, а также ФЗ “Об обеспечении единства измерений”.

При этом во всех технических регламентах должны содержаться необходимые требования по метрологии, обеспечению единства измерений.

Эти требования должны быть согласованы с “Директивой Европейского Парламента и Совета на измерительные приборы” (МИД).

Важное значение для повышения качества измерений и испытаний космических энергетических установок и электроракетных двигателей имеет использование ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 - ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 “Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений”.