

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Семенов Ю.П., Соколов Б.А

Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королева
г. Королев Московской обл.

Одной из важнейших стратегических задач России является сохранение за страной статуса передовой космической державы. Эта задача включает в себя сохранение и развитие возможности разрабатывать и создавать космические аппараты, обеспечивающие потребности народного хозяйства, обороноспособность страны и оказание услуг на международном рынке космических услуг в условиях жесткой конкуренции. В эту же задачу входит совершенствование и создание новых средств выведения в космос преимущественно с национальных космодромов и обеспечение эффективной межорбитальной транспортировки космических аппаратов и комплексов.

Решение этих задач требует совершенствования и создания новых более эффективных источников энергии.

Необходимость опережающего создания и использования мощных космических энергоустановок особенно актуальна применительно к нашей стране. Россия является страной с самой большой в мире территорией, которая в значительной степени требует обустройства. Создание современной инфраструктуры, прежде всего доступной качественной связи и многоканального телевидения, традиционными методами потребует огромных затрат и практически в настоящее время неосуществимо. Создание таких систем с использованием современных технологий на базе космических платформ с мощной бортовой энергетикой позволит не только повысить уровень жизни значительной части населения страны, но и сэкономить значительные средства. У России огромная протяженность сухопутных и морских границ, обустройство которых традиционными средствами очень дорого. Космические средства на базе мощной энергетикой могут обеспечить контроль границ и тем самым повысить обороноспособность страны.

Космос, как и другие области человеческой деятельности, характеризуется постоянным возрастанием уровня энергетического обеспечения. Накануне нового тысячелетия на серийных геостационарных спутниках связи преодолен рубеж мощности 15...20 кВт. Установленная мощность системы электропитания пилотируемой станции "Мир" составила около 50 кВт. Энергетическая мощность МКС достигает в настоящее время 160 кВт. Эти примеры относятся к солнечным электростанциям, в которых генераторами электроэнергии являются солнечные батареи (СБ). Ведущая роль

солнечной энергетики в космической технике сохранится и в наступившем столетии.

На протяжении сорока с лишним лет развития космической солнечной энергетики лидирующее положение в ней занимали кремниевые солнечные элементы и батареи на их основе. Однако в настоящее время достигнуты практически предельные показатели их энергетической эффективности: КПД 14...16%, плотность мощности 150...175 Вт/м², удельная мощность 50...70 Вт/кг. Такие показатели не соответствуют требованиям к параметрам солнечных батарей для КА нового поколения, например, к размещаемым на ГСО крупным платформам. С середины 90-х годов в США осуществляется запуск КА с мощностью систем электропитания 18 кВт (в ближайшей перспективе – 20...30 кВт). Указанный рост мощности СБ достигнут за счет внедрения солнечных элементов на основе сложных каскадных гетероструктур, имеющих КПД 22...28%.

Исследования и разработки однопереходных гетероструктурных солнечных элементов из арсенида галлия позволили поднять КПД фотопреобразователей на их основе при промышленном производстве до 18...20%, что обеспечивает в реальных конструкциях СБ плотность мощности 200...250 Вт/м² и удельную мощность до 80...90 Вт/кг. Однако и эти показатели недостаточны для обеспечения долговременной перспективы успешного развития солнечной энергетики. Параметры, соответствующие всему комплексу требований к перспективным СБ, и, прежде всего, высокие значения КПД, могут быть получены лишь при создании многопереходных (каскадных) гетероструктурных фотоэлектрических преобразователей из полупроводниковых соединений группы А³В⁵ (элементы третьей и пятой групп таблицы химических элементов). К числу этих соединений относится и арсенид галлия. Каскадный солнечный элемент с четырьмя р-п переходами может иметь КПД близкий к 40%, что почти втрое превышает КПД кремниевых СБ.

Основными научно-техническими проблемами создания перспективных СБ в нашей стране являются:

- разработка технологии освоения промышленного производства многокаскадных гетероструктурных солнечных элементов на основе арсенида галлия с подложкой из германия и достижение максимального КПД и необходимой стойкости и длительной работоспособности;
- разработка конструкции и технологии изготовления фотомодулей и СБ с концентраторами солнечной энергии с целью обеспечения возможности работы исследовательских КА на больших расстояниях от Солнца и снижения стоимости СБ за счет уменьшения площади солнечных элементов;
- разработка технологии и освоение производства солнечных элементов из аморфного кремния с целью достижения максимальных энергомассо-

вых характеристик при ограниченной стоимости единицы установленной мощности.

По прогнозам космической деятельности в XXI веке одна из ведущих ролей в области энергодвигательного обеспечения перспективных космических средств отводится наряду с солнечной также и ядерной энергетике. В настоящее время установлена и практически апробирована возможность эффективного использования в составе КА автономных ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) с различными системами преобразования тепловой энергии деления ядерных реакторов в электрическую, а проведенные исследования и проектные проработки свидетельствуют о высокой потенциальной эффективности применения ЯЭУ и ядерных энергодвигательных установок (ЯЭДУ) при выполнении энергоемких задач в космосе. Ядерные источники энергии являются ключом к решению многих социально-экономических, технических, научных и оборонных задач в космическом пространстве за счет существенного в 2...3 раза увеличения массы КА и в 10 и более раз их энерговооруженности. Такими первоочередными задачами являются круглосуточное всепогодное радиолокационное наблюдение, обеспечение связи с подвижными объектами, глобальные телекоммуникационные системы. Ряд этих задач космические ЯЭУ позволяют решать более эффективно по сравнению с другими источниками энергии, а в некоторых случаях их применение является единственно приемлемым решением. Основными научно-техническими проблемами создания ЯЭУ и ЯЭРДУ являются создание конструкций и технологий, обеспечивающих ресурс 7-10 лет с доведением до 20 лет, обоснование длительного ресурса при реальной возможности проведения испытаний в течении не более 2-х лет, обоснование возможности отработки ЯЭУ в основном на существующей экспериментально испытательной базе.

Особо следует остановиться на перспективах развития водородной энергетики как применительно к перспективным космическим энергоустановкам и разгонным блокам, так и применительно к использованию этих технологий в других отраслях техники и народного хозяйства.

В настоящее время криогенные компоненты топлива (жидкие кислород и водород) нашли широкое применение в отечественных и зарубежных РН и РБ, Это связано с повышенной эффективностью (на 20-30% относительно топлива кислород+керосин) и экологичностью этих топлив. В нашей стране ведутся разработки криогенных РБ нового поколения (блок "Ястреб-М" для РН "Онега", РБ на РН "Ангара"), новых двигателей (РД 014Э, РД 0126Э) и модификация имеющегося двигателя 11Д56М.

Основной научно-технической проблемой развития энергодвигательного строения с использованием водорода является обоснование и разработка средств обеспечения длительного хранения криогенных жидкостей в кос-

мических условиях для ДУ разгонных блоков, КА, орбитальных станций и др. Это требует исследования в невесомости теплообменных процессов и разработки высокоэффективных внутрибаковых устройств и теплообменников, средств бездренажного хранения водорода с использованием тепловой защиты и холодильных агрегатов с длительным ресурсом работы, а также создание методов и средств борьбы с температурным расслоением криогенного топлива в баках при длительном хранении в условиях микрогравитации.

Использование водорода приводит к качественно новым показателям в работе не только ракетных двигателей, но и энергетических систем и агрегатов, в том числе не космического назначения, особенно в связи с высокой экологичностью этого топлива. Работы по водородной энергетике во многих, особенно промышленно развитых странах относятся к приоритетным направлениям развития науки и техники, в том числе использования водорода в транспортных средствах, включая наземный и водный, и создание систем энергообеспечения на основе топливных элементов и мощных водородных энергоустановок паротурбинного цикла. Основными направлениями развития водородных технологий являются технологии производства, транспортирования, хранения и распределения жидкого и сжатого водорода, его аккумулирования и очистки.

В РКК "Энергия" работы по созданию энергоустановок на основе топливных элементов (ТЭ) проводились ранее для энергоснабжения лунного орбитального корабля Советской лунной экспедиции и для многоразового космического корабля "Буран", включая решение вопросов хранения криогенных компонентов, проведения длительных тепловых испытаний и определения эффективности электрохимических генераторов (ЭХГ), решения вопросов управления и т.п. В настоящее время на основе разработанных космических технологий и опыта создания ТЭ и ЭХГ в кооперации организаций ведутся работы по созданию энергоустановок на основе ТЭ морского и наземного назначения (электромобилей, систем децентрализованного электротеплоснабжения различных стационарных потребителей).

Применительно к нашей стране основные научно-технические проблемы создания водородной энергетике связаны с разработкой:

- твердополимерных и щелочных ТЭ и ЭХГ на их основе работы на водороде и воздухе, а также на продуктах риформинга легких углеводородов и воздуха;
- систем хранения водорода и кислорода криогенных для морского транспорта и электромобилей и газобаллонных высокого давления (400-800 атм.) для автомобильного транспорта;
- риформеров для получения водорода из природного газа, попутного нефтяного газа, газового конденсата, биогаза, метанола, демилцэфира, бен-

зина и др. углеводов для стационарных и транспортных энергоустановок;

- суперконденсаторов и сильноточных аккумуляторных батарей для систем аккумулирования и рекуперации энергии в электромобилях.

Наличие на борту КА источников электроэнергии достаточно большой мощности позволяет использовать электроракетные двигательные установки (ЭРДУ) как в составе маршевых ДУ, так и КА. Применение ЭРДУ дает ощутимую выгоду, а ряде случаев является единственным решением, например, для двигательных установок КА с большим сроком функционирования на орбите, задач транспортировки тяжелой полезной нагрузки с околоземных орбит на высокие орбиты, полетов к другим планетам, например, автоматических исследовательских КА к спутникам Юпитера и пилотируемой экспедиции на Марс. Ближайшие перспективы применения ЭРДУ связаны, прежде всего, с созданием спутников связи и других КА со сроком активного функционирования 15 лет и более. Помимо этого электроракетные двигатели (ЭРД) могут выполнять и комбинированные функции: выведения на высокие орбиты и управление движением КА на орбите функционирования. Применение ЭРДУ позволяет существенно увеличить массу выводимого полезного груза, в том числе носителями легкого класса.

В России по ЭРД и ЭРДУ имеется достаточно большой задел: суммарная наработка отечественных ЭРД превышает 100000 часов, в том числе при летной эксплуатации 13000 часов.

К основным научно-техническим проблемам совершенствования ЭРД и ЭРДУ можно отнести:

- улучшение параметров существующих ЭРД с целью оптимизации формы плазменных струй, уменьшения массы, обеспечения стабильности характеристик в течении длительного времени работы;
- создание ЭРД и ЭРДУ со сроком функционирования на орбите, в том числе на ГСО, до 18...20 лет;
- проведение исследований и разработку на их основе новых типов ЭРД, в том числе многорежимных;
- разработку надежных энергоустановок и электронного оборудования в вакуумном исполнении для электропитания и управления работой ЭРДУ.

Одной из важнейших проблем космического энергодвигателестроения является эффективное обеспечение требуемого теплового режима КА и разгонных блоков. Для обеспечения теплового режима российских КА используются системы пассивного терморегулирования, включающие в себя терморегулирующие покрытия, тепловую изоляцию, поверхностные электронагреватели, тепловые трубы (КА "Ямал-100); многоконтурные активные гидравлические системы терморегулирования на основе одно-

фазного теплоносителя с использованием пассивных средств терморегулирования (пилотируемые корабли и станции, беспилотный "Прогресс", РБ DM-SL); испарительные системы терморегулирования с расходуемым хладагентом (короткоживущие КА типа РБ серии ДМ).

Дальнейшее развитие активных и пассивных систем обеспечения теплового режима КА предполагает создание принципиально новых систем приема и транспортировки тепла на основе использования двухфазных теплоносителей, в том числе дальнейшее совершенствование линейных и контурных тепловых труб; совершенствование агрегатной базы систем путем создания высокоэффективных компактных теплообменных агрегатов на основе метода вихревой интенсификации теплообмена; снижение потребляемой мощности бортовых и наземных систем термостатирования за счет разработки и внедрения экологически чистых и безопасных теплоносителей, обладающих хорошей прокачиваемостью за счет малой вязкости. Для этого необходимо проведение в комплексной постановке фундаментальных и прикладных исследований теплообмена и гидродинамики двухфазных потоков при микрогравитации, в результате выполнения которых должны быть получены новые данные о процессах теплообмена в криогенных и высококипящих теплоносителях, о работе двухфазных циркуляционных контуров, отработаны методики проведения экспериментов и диагностики двухфазных течений. Реализация этой программы может позволить уменьшить массы систем терморегулирования на 30-50% (за счет снижения массы соединительных трубопроводов и массы теплоносителя); уменьшить энергопотребление прокачивающих устройств системы в 5-10 раз; повысить точность термостабилизации до 1%.

Основной научно-технической проблемой, которую необходимо решить при разработке теплоносителей, является синтез нового класса экологически чистых пожаровзрывобезопасных жидкостей, обладающих небольшой кинематической вязкостью (0,8...1,0 сантистокс при 0°C) и хорошими технологическими и эксплуатационными свойствами. Решение этой проблемы позволит снизить потребляемую мощность перекачивающих устройств (гидронасосов) в 2...3 раза, уменьшить габариты и массы гидронасосов примерно в 2 раза и повысить их ресурс в 2...5 раз.

В целом дальнейшей задачей разработок должно быть развитие высоких технологий России как одного из мировых лидеров в космическом энергодвигателестроении и продвижении их на мировой рынок, а также использование высоких технологий космической техники с мощной энергетикой, в том числе ядерной, в различных отраслях народного хозяйства, науки и оборонной техники.