

КОСМОС – ДОРОГА В БУДУЩЕЕ

Уже в двенадцатый раз под эгидой Российской академии наук в стенах образовательного выставочного комплекса «Музей космонавтики и ракетной техники» в Петропавловской крепости прошел Международный научно-практический симпозиум «Безопасность космических полетов». Организаторами симпозиума выступили Российская академия наук, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-производственное объединение «Специальных материалов» и Международная академия астронавтики. В нем приняли участие ученые из многих профильных институтов РАН, Московского, Санкт-Петербургского и других государственных университетов и институтов, НИЦ «Курчатовский институт», РКК «Энергия» им. С.П. Королева, АО «Государственный ракетный центр им. Академика В.П. Макеева», АО «НПО Спецматериалов» и других объединений и предприятий, выпускающих наукоемкую продукцию, востребованную в космической отрасли. Физика, астрономия, математика, химия, биология, материаловедение – фундаментальные науки идут рука об руку, чтобы на их стыке рождались прорывные для освоения внеземного пространства решения.

Земные технологии все больше замыкаются на космос – это и связь, и геолокация с навигацией и телеметрией, и оборона. Но от космоса исходит и экзистенциальная угроза Земле: геомагнитные бури, радиация, астероидная и метеоритная опасность. И в то же время космос – наше будущее: когда Солнце начнет остывать, в его просторах землянам предстоит найти себе новый дом. Однако вместо того, чтобы сообща осуществлять масштабные проекты, страны соперничают между собой за лидерство в космической гонке. Покорение Луны, Марса с позиций нынешних технологических возможностей обещает долгосрочное доминирование на Земле. Конкурировать с западными странами, Китаем становится ощутимо труднее. Но тем не менее процесс идет, в этой области трудятся энтузиасты – и государство, наконец, повернулось лицом к разрабатываемой ими проблематике. Наши космические программы строятся не ради пиара, а в расчете на долгую методичную работу, в ходе которой продумываются все возможные осложнения. Такой комплексный подход к обеспечению безопасности космических полетов стал визитной карточкой этого научного форума.

ПОД ОРБИТАЛЬНЫМИ «ЛУЧАМИ»

Лекцией о многофункциональной космической системе ретрансляции для решения задач пилотируемой космонавтики, систем «Коспас-Сарсат» и Гидромета открыл пленарное заседание академик РАН **Николай Тестоедов**, представлявший Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН. Начал он с простой задачи по геометрии: если площадь России составляет примерно одну седьмую часть земной суши, которая, в свою очередь, занимает только треть от общей площади земной сферы, то получается, что площадь России не превышает пяти процентов от общей поверхности Земного шара. Этого абсолютно недостаточно для решения задач космонавтики, особенно низкоорбитальной, пилотируемой. С территории России не видно расположение большей части спутников, отработанных ступеней, ракетносителей, пилотируемых станций. А это связь, получение телеметрии, обеспечение жизнедеятельности и безопасности космонавтов.

Исторически за пределами страны обеспечение связи с движущимися объектами вне зон видимости с российской территории было возложено на так называемые корабли науки, под радиопрозрачными сферами которых были смонтированы антенны космической связи. Они совершали дальние морские походы, являясь своего рода телепортами для космических группировок. Но с 1994 года эти суда прекратили свою деятельность, а их функции были переданы спутникам-ретрансляторам разработки НПО прикладной механики им. академика

М.Ф. Решетнева. Так, орбитальная группировка в составе спутников-ретрансляторов «Луч» и «Луч-2» обеспечивала круглосуточную связь с орбитальной станцией «Мир». Следующим шагом стала разработка многофункциональной космической системы ретрансляции (МКСР) «Луч» с геостационарными аппаратными спутниками-ретрансляторами «Луч-5А», «Луч-5Б» и «Луч-5В», выведенными на орбиту в 2010-х годах. С 2018 г. началась ее модернизация, под которую разрабатывается новый КА «Луч-5М». Помимо информационного обеспечения космических объектов, МКСР выполняет большой объем работ в интересах наземных потребителей. Это прием или трансляция информации от автоматизированных платформ сбора данных Росгидромета (в труднодоступных местах страны их почти 500), а также от аварийных буев системы «Коспас-Сарсат». Информация от них идет на спутник и далее на станцию приема. Кроме того, через спутники-ретрансляторы осуществляется передача потребителям корректирующих сигналов системы ГЛОНАСС. Космические объекты круглосуточно обеспечиваются потоками информации в нескольких диапазонах. Земной сегмент этой системы состоит из станций наземного комплекса управления и наземных комплексов обеспечения ретрансляции.

Многофункциональная система ретрансляции «Луч-5М» – результат эволюции идей, заложенных в предыдущих спутниках «Луч». Изменилась конфигурация антенны для повышения чувствительности приема станции, увеличилось число диапазонов и мощность системы электропитания на полезную нагрузку, вырос срок активного существования. Пересматривается приборный состав с учетом изменения характеристик электронно-компонентной базы. В федеральном проекте «Спутниковая связь и наблюдение за Землей» национального проекта «Развитие космической деятельности РФ на период до 2030 и на перспективу до 2036 года» предусмотрен запуск в период с 2027 по 2031 гг. еще четырех космических аппаратов МКСР «Луч». Сегодня за Россией закреплены четыре орбитальные позиции, которые с эффективным перекрытием обеспечивают необходимую ретрансляцию, и новая программа развития спутников-ретрансляторов предполагает занятие всех четырех позиций. Это позволит не только надежно, круглосуточно гарантировать, но и дублировать ряд функций, особенно в западном полушарии, что в свою очередь улучшит дальнейшее информационное сопровождение программы пилотируемой космонавтики, включая безопасность полетов.

В целом же описанная в федеральном космическом проекте система, включающая комбинации спутниковых группировок средней, низкой орбиты, наземных навигационных источников, возможно даже стратосферных станций (будь то беспилотник на кабеле или солнечной батарее или дирижабль) применительно к связи позволит создать единое информационное поле от земли до космических аппаратов, которое еще называют бесшовным цифровым небом. Туда будет влетена и доставка, и защита навигационных сигналов. Задача архисложная и





технически, и финансово. Поэтому в программе анонсировано внедрение частного государственного партнерства, как это уже успешно происходит в других странах. Как это будет выглядеть, скажем, для развития системы ГЛОНАСС? Государство выделяет деньги для стартов, для разработок подобных систем, чтобы у частных была основа для перехода на готовое научно-техническое решение. В итоге периодичность, с которой государство гарантирует пользователям осмотр любого места страны с разрешением в полметра, с приходом многоспутниковой системы частных компаний увеличится в 12 раз к 2036 году.

БЕНЗИН ПОГАСИТ ВЗРЫВ?

Одним из их ключевых направлений развития космонавтики всегда оставалось создание новых, более эффективных видов топлива – например, на основе водорода. С учетом перспектив перехода на него автомобильных двигателей, различных типов горелок Международное энергетическое агентство объявило, что к 2050 году мировой спрос на водород возрастет до 528 млн тонн против 85 млн тонн в 2020-м. Водород привлекает своей экологичностью, дешевизной, возобновляемостью, высокой энергетической плотностью. Водородные двигатели бесшумные и, в отличие от электрических, быстро заправляются. Главный же недостаток водорода – высокая взрывоопасность: при соприкосновении с воздухом он может детонировать от малейшей искры или даже от статического электричества. Обеспечить безопасность использования водорода в ракетах-носителях и на космодромах – важнейшая задача. О том, как сделать водородную энергетику безопасной, предотвратив взрыв при аварийных выбросах газа, рассказал доктор физ.-мат. наук, профессор **Николай Смирнов**, представлявший МГУ имени М.В. Ломоносова. Он отметил большую роль в организации исследований в МГУ по вопросам безопасности космических полетов междисциплинарной научной школы «Фундаментальные и прикладные исследования космоса (Ш-01)».

Процесс горения может распространяться в двух режимах – детонации и дефлаграции. Дефлаграция или медленное горение проходит с дозвуковой скоростью – за счет нагрева, теплопередачи от сгоревших слоев несгоревшим. При детонации же возникает сильная ударная волна – распространяясь со сверхзвуковой скоростью, она сжимает среду, разогревает и запускает химическую реакцию. Такая волна несет гораздо больше разрушений. Сам феномен детонации во многом определяется временем задержки воспламенения. Если фронт пламени отстанет от ударной волны, детонация разрушится. Следовательно, надо растянуть реакционную зону – тогда выделенная энергия будет меньше влиять на ударную волну. В поисках ответа на вопрос, как это сделать, все больше исследователей направляют внимание на химические методы, а именно использование ингибиторов – веществ, замедляющих скорость химической реакции. Промышленно выпускаемые ингибиторы в принципе затрудняют процесс горения, что мало подходит для топлива. Интересную идею подал ученый-химик, член-корреспондент РАН В.В. Азатян. Он предложил убрать из сложного цепного процесса реакции водорода самый активный радикал, то есть атомарный водород, связав его с неким углеводородом, который в свою очередь тоже является горючим. В итоге реакция замедляется, но ненамного, что для процесса горения не критично. Результаты экспериментов показали: без применения ингибитора детонационная волна имеет ячеистую структуру с поперечными волнами. При добавлении 1% ингибитора она замедляется и ячейки становятся крупнее. При 2% – ячейки еще крупнее, поперечные волны сглаживаются. И, наконец, при 4% ингибитора – ударная волна уходит вперед, а фронт горения отстает, детонация разваливается. Если ингибитор заранее добавить, перемешать, то детонации

не случится, а горение продолжится и его энергетика даже увеличится. Таким образом, добавив один горючий материал в другой, мы добиваемся безопасности горения в двигателе, как бы парадоксально это ни звучало.

ОХОТА НА АСТЕРОИДЫ

Коллектив авторов из Института проблем управления РАН подготовил доклад о проектировании миссий по добыче полезных ископаемых с астероидов в рамках соревнований по глобальной оптимизации траекторий. Руководитель работы член-корр. РАН А.А. Галяев уступил место у трибуны своему молодому коллеге **Александру Самохину** – как непосредственному участнику событий, о которых пойдет речь. Это престижные соревнования по глобальной оптимизации траекторий – Global Trajectory Optimization Competition или коротко ГТОС. Впервые их организовал Дарио Иццо из Команды Передовых Концепций (Advanced Concepts Team) Европейского Космического Агентства (ESA) в 2005 году. Для решения каждой поставленной задачи требуется построить оптимальную траекторию перелетов космических аппаратов. В действительности решений бесконечно много: за ограниченное время необходимо определить наилучшее возможное по функционалу, используя любые ресурсы и методы.

В 2005 году в рамках миссии по спасению Земли от угрожающего ей астероида 2001 TW229 командам ставилась задача максимально изменить его траекторию движения, столкнув с управляемым малой тягой космическим аппаратом. В 2006 году ГТОС дал задание посетить за минимальное время четыре астероида из разных семейств, а в 2007-м – последовательно посетить 3 астероида из заданных 140, по возможности оставаясь на каждом как можно более продолжительное время. К тому моменту соревнования выигрывали поочередно американцы, итальянцы, французы. В 2009 году, на четвертых соревнованиях, вперед вырвалась команда МГУ. Необходимо было за десять лет облететь максимально возможное число околоземных астероидов – и москвичи построили траекторию пролета 44 астероидов. В 2010-м миссии были посвящены бомбардировке астероидов пенетраторами в научных целях. В 2012-м от участников требовалось картографировать 4 спутника Юпитера. В 2014-м соревнования были посвящены изучению пояса астероидов. Основной космический аппарат нес три дрона, которые отделялись, последовательно исследовали несколько астероидов, затем возвращались обратно к основному аппарату. В 2015-м целью было провести картографирование радиосточников при помощи трех космических аппаратов. В 2017-м ГТОС был посвящен эффекту Кesslera: команды должны были с минимальными затратами очистить космос от 123 объектов космического мусора. В 2019-м миссия звучала и вовсе футуристично: за 90 миллионов лет заселить в нашей галактике как можно больше звездных систем из отобранных 100 тысяч, сделав это как можно более равномерно, учитывая, что после заселения очередной звездной системы из нее могут стартовать очередные 3 корабля с колонистами. Если до этого в лидеры попеременно выходили американцы и европейцы, то теперь настала очередь китайцев, во многом благодаря тому, что они организовали у себя в стране похожие ежегодные состязания. В 2021 году соревнования были посвящены построению части сферы Дайсона через сто лет от наших дней. Для строительства одного кольца требовалось передвинуть как можно больше астероидов двигателями, перерабатывающими их вещество в топливо. Чем ближе будет находиться это кольцо к Солнцу, тем больше дополнительной энергии получат земляне. И, наконец, в 2023 году 12-й выпуск конкурса Global Trajectory Competition был организован вокруг проблемы «Устойчивая добыча полезных ископаемых на астероидах». Команда из ИПУ РАН в числе немногих из более чем 100 команд справилась с заданием и подошла к финалу, имея куда меньше вычислительных возможностей, чем конкуренты, и численность – трое против двадцати.



Академик РАН М.В. Сильников



Академик РАН С.А. Чернышёв



Академик РАН Н.А. Тестеодов

А теперь о главном: возражение о том, что все подобные состязания только «игры разума», не выдерживает критики. Уже давно астероиды интересуют ученых как ключ к пониманию процесса формирования Солнечной системы, в том числе Земли. С точки зрения безопасности людям так или иначе придется научиться уничтожать или менять траекторию астероидов, летящих на нашу планету. А в 80-х годах прошлого века были сделаны первые инженерно-экономические обоснования возможности, а в перспективе и рентабельности добычи полезных ископаемых с астероидов. В двухтысячные были запущены две первые миссии по доставке образцов грунта с них. Если в начале удавалось доставить на Землю всего несколько граммов образцов грунта, то, скажем, стартовавшая в мае этого года китайская межпланетная станция «Тэньвэнь-2» должна получить и доставить до килограмма грунта с астероида Камоалева. Почему это так важно? Для дальнейшего развития человечества в технической сфере, особенно для микроэлектроники, зеленой энергетики, остро необходимы редкоземельные металлы, платина. Их запасов на нашей планете может не хватить, а добыча наносит большой экологический урон планете. Да, конечно, разработка полезных ископаемых за счет экспансии в космосе – сама добыча и доставка их на Землю – создает огромные трудности в энергетике и логистике этого предприятия. Но и вознаграждение впечатляет: сеть астероидов в радиусе досягаемости перспективной космической техники, по современным

представлениям, содержит ресурсов на десять квинтиллионов долларов, то есть в сто тысяч раз больше всего мирового ВВП. А запасов разных минералов там на миллионы лет вперед. Кроме того, астероиды радиусом около пятисот метров содержат воду, запасы которой оцениваются в 50 млрд долларов, – ее можно использовать для создания топлива на орбите. Перспективы для этой отрасли открываются впечатляющие, но и подводных камней немало. Начать с юридических нюансов: Россия считает, что мировые ресурсы принадлежат всему человечеству, а США – тому, кто добыл и привез. Но самое проблематичное – обеспечить безопасность миссии. В условиях микрогравитации, с задержкой связи на десятки минут вести добычу на астероиде сложно, а алгоритм действий при возможной аварии и вовсе непонятен. Наконец, непонятно, как отразится на экономической ситуации такое свалившееся с неба богатство – рынки могут просто рухнуть. Тем не менее, уже сейчас есть компании, в том числе частные, которые запускают к астероидам космические аппараты с целью анализа их состава и дальнейшей коммерческой добычи. Несмотря на текущие неудачи, от своих целей они не отказываются.

ПОД ЗАЩИТОЙ НОВЫХ КОМПОЗИТОВ

Космические аппараты (КА) – станции, спутники – за годы пребывания на околоземных орбитах подвергаются постоянному обстрелу – иначе и не называй многочисленные столкновения с космическим мусором, летящим со скоростью 10 и выше км/с, а если это космическое тела – микрометеороиды, то и свыше 70 км/с. Они повреждают обшивку, оставляют пробоины в корпусах КА. И если от больших фрагментов, вовремя их заметив, можно уклониться за счет маневра, то от мелкой дробы нет иного спасения кроме физической защиты. Новым материалам для нее был посвящен доклад, подготовленный специалистами НПО Спецматериалов.

Принцип дополнительной разнесенной брони для КА придумали давно, по фамилии изобретателя она получила название «щит Уиппла». Передний экран

(бампер) принимает на себя удар и частично гасит его кинетическую энергию. Расположенный на некотором расстоянии уловитель – внутренний слой или несколько слоев щита – останавливает облако осколков, частиц и брызг вещества разрушившегося снаряда и внешнего слоя. В поисках лучшей защиты для МКС придумали свыше 100 вариантов конструкции, в том числе с использованием керамонаполненных тканей – так называемый щит Уиппла «с наполнением». Его передний бампер обычно делают из алюминия, а дальше идут несколько слоев, последний из которых – это керамические или арамидные ткани, останавливающий и рассеивающий эффект которых известен еще по бронежилетам. Но и у них есть свои недостатки: керамика от удара крошится и образует облако мелкой пыли, а арамидным тканям не хватает прочности. Но есть материал более эффективный, чем кевлар, и, в отличие от керамики, не склонный к образованию трещин и сколов. Это сверхвысокомолекулярный полиэтилен или СВМПЭ. В 2023 году в АО «НПО Спецматериалов» было запущено первое и единственное в России производство нетканого полотна из нитей сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) под торговой маркой «РУССИЛ».

Производство СВМПЭ высокотехнологично. Из раствора полиэтилена – через стадию гель-прядения с последующим охлаждением – получают волокна СВМПЭ методом горячей протяжки. Затем нити из скрученных волокон укладывают вплотную параллельно друг другу, добавляют связующее и, высушив, получают однонаправленное полотно-прекурсор. Из четырех прекурсоров формируется полотно. Его используют в бронежилетах, бронешлемах; из нитей СВМПЭ плетут канаты, боновые ограждения, которые выдерживают даже взрыв начиненного взрывчаткой морского беспилотника. Но для космических нужд СВМПЭ может быть полезен в форме композита – его получают путем горячего прессования четырех уложенных друг на друга слоев полотна СВМПЭ с ориентацией нитей под 90°. Благодаря тому, что в основе такого композита сохраняются связи между волокнами, он, в отличие от пластика, не раскалывается при ударе. Комплекты бронезащиты из СВМПЭ-композита для транспорта хорошо зарекомендовали себя в СВО. Почему бы не попробовать использовать их для защиты космических станций? Специалистами НПО Спецматериалов было проведено много исследований баллистической эффективности материала, но возможности проверить его прочность при ударах на космических скоростях, конечно, отсутствовали. Но можно обратиться к зарубежному опыту. Скажем, в Германии, в Институте высокоскоростной динамики Фраунгофера, проводили исследования по эффективности композитов на основе СВМПЭ в качестве экранной защиты. Панель 15 кг/м² выдерживала попадание шарика диаметром 6 мм, летящего на скорости 2300 м/с. Это существенно эффективнее, чем применяемый сейчас в щите Уиппла алюминий или арамидные материалы. Похожие исследования проводили в США (на скоростях 6,5–7 км/с), Израиле и Китае, и тоже с положительным результатом. Дополнительным бонусом выступает легкий вес материала.

Ценно то, что свои прочностные и демфирующие характеристики СВМПЭ сохраняет при крайне низких температурах и при больших их перепадах, чему не могут противостоять арамидные материалы. Только нагревание свыше 100 градусов немного понижает характеристики СВМПЭ, однако не критично. В совокупности все эти свойства делают его эффективным материалом для поглощения энергии высокоскоростных частиц, а также, как показывают опубликованные данные, для противорадиационной защиты экипажа и самого космического корабля.

КОНСТРУКТОРСКАЯ МЫСЛЬ

И без того многочисленное космическое хозяйство в перспективе будет только разрастаться и, как всякое хозяйство, оно временами требует починки, частичной замены и уборки. Нужна «рабочая лошадка», которая, курсируя «туда-сюда», сможет навести порядок. В Государственном ракетном центре имени Макеева с 2023 года разрабатывают первую в мире полностью многоразовую (способную совершить до 100 полетов) одноступенчатую ракету-носитель, которую назвали «Корона». Предполагается, что ракета будет выводить полезную нагрузку на низкие околоземные орбиты, возвращать грузы с орбит высотой до 10 тысяч километров, а также производить дозаправку и ремонт объектов на орбите. Уже сейчас, параллельно с конструированием самой ракеты, идет разработка специального оборудования под выполнение различных миссий. Молодые ученые АО «ГРЦ им. акад. Макеева» **Владислав Князев** и **Артем Завьялов** предложили использо-

вать РН «Корона» в очистке околоземного пространства от космического мусора. В первую очередь, опасения вызывают крупные объекты – такие, как третья ступень ракетоносителя «Циклон-3», поскольку они содержат остатки компонентов азотного топлива, которые могут самопроизвольно взрываться. А дальше, как в эффекте домино, каждый осколок превращается в потенциального убийцу действующих космических аппаратов. Чтобы этого не произошло, объект надо аккуратно вернуть на Землю. Для этого был сконструирован космический аппарат для сборки космического мусора. На низкую опорную орбиту его выведет РН «Корона», а дальше сборщик сам продолжит набирать высоту до орбиты третьей ступени «Циклона-3», сблизится с объектом и осуществит его захват с помощью антропоморфных рук, действуя по очень мягкой схеме, чтобы не спровоцировать взрыв остаточного топлива. Достаточно будет одного десятка многоразовых РН «Корона», чтобы собирать 1–2 тонны космического мусора в год. Такими темпами можно за 5–10 лет полностью очистить космос от крупных отработавших объектов и предотвратить цепную реакцию разрастания космического мусора. В декабре 2024 года проект молодых ученых занял призовое место на Всероссийском молодежном конкурсе научно-технических работ «Орбита молодежи».

Безопасность, надежность и длительность полета любого спутника зависит от его энергосистемы, которая может занимать до 30% всей его массы. Электроэнергия уходит на работу двигателя, который обеспечивает корректировку орбиты, питание вспомогательной аппаратуры и оборудования миссии. **Екатерина Шершунова** из Института электрофизики и электроэнергетики РАН рассказала о разработанном там преобразователе напряжения постоянного тока для спутников, находящихся на низкой околоземной орбите и в основном предназначенных для дистанционного зондирования Земли. Они самые многочисленные (более 8 тысяч), а также малые по размеру – массой до 500 кг, в том числе кубсаты, которые могут представлять собой кубик с гранью 10 см. Первичным источником электроэнергии для малых спутников являются солнечные батареи, а когда они находятся в затенении – аккумуляторные батареи, которые запасают энергию. Основные нагрузки зависят от типа двигателя: он может быть химическим, а может электрическим – ионным или основанным на эффекте Холла. От того, как правильно соединить все эти элементы, зависит архитектура электросхем – будет это прямое преобразование энергии, централизованное или распределенное. Преобразователь напряжения стационарного тока – ключ в этой архитектуре. Он может быть неизолированным – при схожих уровнях напряжения или изолированным – при разных его уровнях. Преобразователь, разработанный в ИЭЭ РАН, – двунаправленный: КПД его работы при повышении напряжения составляет 97%, при понижении – 95%.

ОТВЕТЫ ДАЕТ ТЕОРИЯ

Запуск и пребывание КА в космосе требует внимания ко всем конструктивным, технологическим нюансам при проектировании, создании и функционировании различных систем. В основе принимаемых решений всегда лежит понимание особенностей задействованных физических процессов. О некоторых подобных моментах шла речь на симпозиуме.

Профессор СПб ГМТУ **Сергей Исаев** давно занимается изучением вихревых гидродинамических механизмов интенсификации тепло- и массообменных процессов. Понимание их особенностей открывает возможность через изменение формы и структуры рабочих поверхностей двигательных, энергетических установок значительно повышать их эффективность. Первым это открытие сделал и использовал в своих изобретениях советский ученый Г.А. Дрейцер. Он предлагал наносить на поверхности теплообменных труб ребра снаружи и чередующиеся выступы (валики) внутри. На новом историческом рубеже этот подход переосмыслили. Вместо валиков на поверхности сделали вогнутости в виде углубляющихся каналов с лунками, наклоненными над углом потока. В результате такой конфигурации после входа потока в канавку возникает резкий перепад давления, вызывающий ультравысокие уровни возвратного и закрученного течений с ультравысокими градиентами скоростей. После экспериментов на цифровых двойниках выяснилось, что наилучшими конструкциями с точки зрения теплообмена являются зигзагообразные рельефы канавок, покрывающие поверхности без начала и без конца: смерчей тогда не возникает, а отрицательное давление сохраняется. Это открытие прошло проверку в трех научных центрах – его использование даст существенную отдачу в народном хозяйстве в целом и в энергосистемах космических аппаратов в частности.

Анастасия Шамина, доцент МГУ имени М.В. Ломоносова, представила пленарный доклад, в котором с применением метода граничных элементов (разрывных смещений) в задачах механики исследуется взаимное влияние системы трещин в трехмерном теле. В рамках исследований выяснялось влияние геометрической формы трещин, связности области, занятой трещиной на направления вероятной эволюции в процессе ее роста. Так, оказалось, что, когда трещины расположены друг над другом, они стабильны и еще не приводят к разрушению конструкции. Но если трещины расположены со смещением в близких плоскостях, риск их роста резко увеличивается, что может привести к разрушению материала. Валификация соответствия численных результатов аналитическим решениям выявила не более 2% ошибок. При нештатных ситуациях в условиях долгосрочного космического полета такой метод позволит качественно рассчитать риски.

Виктор Ворожцов выступил с докладом, подготовленным коллективом ученых из СПбГУ. В качестве одной из причин повышения радиационного фона при космических полетах авторы рассмотрели процессы испарения при эксплуатации высокотемпературных защитных покрытий, содержащих оксиды цезия и стронция. Поскольку уже традиционно в формировании защитных покрытий летательных аппаратов используется алюмосиликатная керамика (например, из оксида кремния, алюминия и бора), ученые исследовали процессы ее взаимодействия с имитаторами радионуклидов цезия и стронция в разных температурных режимах. Высокотемпературный метод масс-спектрометрии позволил определить, что испарение оксида цезия происходит при температуре 900°K, оксидов стронция и алюминия – 1800°K, а кремния – 2200°K. Рассчитав результаты для двух- и трехкомпонентных систем, исследователи определили, что, например, покрытие орбитального корабля «Буран» могло успешно защищать от радиации не менее 30 суток при температуре 1600°K. Выработанный подход незаменим при создании высокотемпературных защитных покрытий летательных и космических аппаратов, а также в атомной энергетике, расчете длительности космических полетов.

АВТОМАТИКА СТРАХУЕТ ПИЛОТОВ

Как признают специалисты, в последние годы технологии, применяемые в космическом и авиастроении сближаются. Не в последнюю очередь это касается и систем безопасности. Начальник отделения ФАУ «ЦАГИ», доктор техн. наук **Сергей Баженов** выступил с пленарным докладом «Функции комплексной системы управления по обеспечению безопасности взлета и посадки магистральных самолетов» (соавторы – С.Л. Чернышев, К.И. Сыпало). Особое внимание именно к этим фазам полета неслучайно – именно на них падает наибольшее количество происшествий. Так, за взлет, занимающий всего 2% времени, происходит 21% нештатных ситуаций, а посадка (4% времени) дает 47% аварийности. К ее основным причинам относят повреждение на ВПП, потерю управления, столкновение с рельефом (например, касание полосы концом хвоста или крыла при сильном боковом ветре), выкатывание с ВПП.

Ученый осветил основные направления исследований института в области систем управления и безопасности полета магистральных воздушных судов, рассказал о функциях комплексной системы управления, повышающих безопасность взлета и посадки, среди которых ограничители углов тангажа и крена, автомат парирования отказа двигателя и другие. Также были продемонстрированы результаты исследований ЦАГИ по перспективным комплексам информационной



Председатель симпозиума, профессор МГУ Н.Н. Смирнов



Академик РАН Е.В. Шахматов



Академик РАН И.А. Калаяев



поддержки экипажа, а именно по интегрированной системе траекторной безопасности и системе предотвращения выкатывания с взлетно-посадочной полосы. Прогнозируется, что в результате внедрения автоматизированных систем и информационных систем поддержки экипажа уровень аварийности в среднем снизится в 4,5 раза.

«Создание высокопроизводительных и надежных систем управления для гражданских воздушных судов стало результатом развития элементной базы и совершенствования алгоритмов управления. Идеология комплексной системы управления разработана учеными ЦАГИ. Ее применение окажет неоценимую помощь пилотам в том числе и на таких ответственных участках полета, как взлет и посадка», – прокомментировал академик Сергей Чернышев.

В ЗОНЕ ПОИСКА – ТРИ ОКЕАНА

Безопасности экипажа космических кораблей при выведении с космодрома «Восточный» был посвящен доклад **Георгия Иванова** из РКК «Энергия». С 2027 года с Восточного планируется запуск орбитальных модулей, транспортных и грузовых кораблей для новой Российской орбитальной станции (РОС). Новая трасса располагается над труднодоступными районами. В случае возможной аварии корабль отделяется от аварийного ракетносителя и совершает спуск в неуправляемом режиме. Для прикрытия спасения экипажа на протяжении сухопутного участка трассы используется множество дежурных вертолетных и самолетных спасательных групп – за исключением участка трассы над территорией КНР, с которой надо будет договариваться о содействии. Во время полета над акваторией Японского моря внизу будет дежурить спасательный корабль. А затем трасса над акваторией Тихого океана остается неприкрытой – поиск и спасение здесь может быть обеспечено только вертолетными или самолетными группами. Но самые большие трудности начинаются после перехода на вторую и третью ступень: в эти секунды значительная часть трассы – более 10 000 км – проходит через акваторию Северного Ледовитого океана, горные хребты побережья Гренландии и акваторию Атлантического океана. Равномерно расположить там спасательные средства практически невозможно. Нужно искать другие подходы – сократить протяженность данного участка, сохранив возможность спасения экипажа на протяжении всего полета.

Авторы доклада предлагают изменить компоновку конструкции космического корабля, переместив систему аварийного спасения (САС). Традиционно она расположена вверху космического аппарата и

хорошо себя зарекомендовала, обеспечивая спасение от старта до выведения из плотных слоев атмосферы в конце участка первой ступени. Но при этой схеме необходимо выделять специальный сертифицированный район, предназначенный для сброса взрывоопасных и пожароопасных средств. Также, в случае аварии, после отделения САС для безопасного увода корабля можно использовать только его двигательную установку.

Предлагается параллельно рассмотреть возможность компоновки САС в виде отдельного блока в нижней части космического корабля. Выполнив свою функцию, начиная от стартового комплекса и на участке плотных слоев атмосферы, она при этом продолжит лететь вместе с кораблем на всем участке работы ракетносителя, являясь как бы последней ступенью выведения. Таким образом, энергетика этого блока не теряется впустую и с пользой используется, ведь тяговооруженность такого блока значительно выше, чем у двигательной установки самого корабля.

Для сокращения морского участка предлагается использовать маневры космического аппарата при помощи либо его собственной двигательной установки, либо этого нижнего блока, что поможет сгруппировать все точки возможных аварийных падений в ограниченном числе районов: над архипелагами Северная Земля и Земля Франца Иосифа (там максимальное время подлета вертолетной группы будет составлять полтора часа), вблизи аэродрома города Баренцбург архипелага Шпицберген и в ограниченном морском районе радиусом 200 км вблизи Гренландии, где будет ждать спасательный корабль. Благодаря этому протяженность трассы сокращается, будет задействовано ограниченное количество средств и время спасения не превысит шести часов.

Из материала, в котором кратко изложены лишь пленарные доклады, можно составить некоторое представление о гигантском разбросе поднятых на симпозиуме тем, каждую из которых необходимо развивать для достижения общего результата. Далее работа продолжилась на секциях, где обсуждались не только постановочные, но и прикладные вопросы и шло оживленное обсуждение среди заинтересованных специалистов.

Наверно, главное, что можно вынести с симпозиума – это понимание решающей роли освоения космоса для уже ближайшего будущего страны. Если исследовательская наука, развитие конструкторских школ, подготовка кадров для них, подкрепленные цифровизацией, внедрением нейронных сетей и искусственного интеллекта, других передовых технологий, не станет национальным приоритетом, как во времена первого полета человека в космос, мы рискуем оказаться на обочине магистральной дороги развития человечества. Все условия для того чтобы запустить такой цикл инноваций у России есть. Нужна политическая воля, а люди такое стремление поддержат. Недаром в недавно опубликованных результатах всероссийского социологического мониторинга «Как живешь, Россия?», проведенного ФНИСЦ РАН, среди ответов на вопрос «Что сегодня вызывает у Вас чувство гордости за Россию?» третье место занял ответ «Достижения в науке», лишь на 1% уступив варианту «Армия, современное оружие» и меньше 5% – «Российский народ, его сила, дух». Хотя по сути все три этих ответа об одном и том же – любви к Родине и стремлении ее прославить и защитить.

Наринэ **КАРАПЕТЯН**

