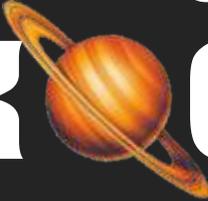


Space Research & Technologies

КОСМИЧЕСКИЕ



№1
2013

ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

Международный журнал о космонавтике International Journal of Aerospace



**Коллегия
Казкосмоса**

**Космический мусор
в повестке дня**

**Внеземные ресурсы
на службе человека**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Талгат Мусабаев —

председатель,
Казахстан

Меирбек Молдабеков —

заместитель председателя,
Казахстан

Мэлис Абсаметов —

директор Института гидрогеологии
и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина,
Казахстан

Александр Дегтярев —

генеральный конструктор — генеральный
директор ГП «Конструкторское бюро
«Южное» им.М. К. Янгеля»,
Украина

Жумабек Жантаев —

заместитель председателя, главный редактор,
Казахстан

Жайлаубай Жубатов —

директор РПП «Научно-исследовательский центр
«Гарыш-Экология»,
Казахстан

Леопольд Лобковский —

заместитель директора Института океанологии
им. П.Ширшова РАН, член-корреспондент
Российской Академии Наук,
Россия

Гавыллалып Мурзакулов —

президент АО «Национальная компания
«Қазақстан Ғарыш Сапары»,
Казахстан

Даулет Нурумбетов —

генеральный директор РПП «Инфракос»,
Казахстан

Рене Пишель —

глава постоянного представительства
Европейского космического агентства
в Российской Федерации

Мартин Свитинг —

исполнительный председатель
совета директоров компании
Surrey Satellite Technology Limited (SSTL),
Великобритания

Сомчет Тинапонг —

председатель Агентства по геоинформатике и
развитию космических технологий
Королевства Таиланд (GISTDA),

Виктор Хартов —

генеральный конструктор — генеральный
директор ФГУП «Научно-производственное
объединение им. С.А. Лавочкина»,
Россия

Ризат Нуршабеков —

председатель комитета связи
и информатизации Министерства транспорта и
коммуникаций, Казахстан

Журнал «Космические исследования и технологии», № 1(6) 2013

Периодичность: четыре номера в год

Главный редактор Жумабек Жантаев

Шеф-редактор Нурлан Аселкан

Заместитель главного редактора Александр Губерт

Заместитель главного редактора Николай Бреусов

Заместитель главного редактора Леонид Чечин

**Официальный представитель в Москве
и Российской Федерации** Эльвира Ханко

Дизайн и верстка Татьяна Рожковская

Техническая подготовка Альберт Аджимуратов

Адрес редакции: 050010, г. Алматы,

ул. Шевченко, 15, тел. (727) 385-49-36, факс (727) 293-88-20

e-mail: nurlan1410@mail.ru, info-nckit@yandex.ru

www.cosmos.kz

Свидетельство о постановке на учет № 11779-Ж от 02.07.2011,
выдано Министерством связи и информации Республики Казахстан

Мнение авторов не всегда совпадает с мнением редакции.

Ответственность за содержание рекламных материалов
несет рекламодатель.

Перепечатка материалов, а также использование в электронных СМИ
возможны только при условии письменного согласования с редакцией.

Отпечатано в типографии

ТОО «Синергия Пресс» г. Алматы, пр. Рыскулова, 57в

Тираж 1000 экземпляров

Учредитель и издатель ТОО COSMOS.KZ

Перевод и корректура — Фонд поддержки науки
и технологий «SCIENCE»

Magazine «Space Research and Technologies», № 1(6) (2013)

Periodicity: four issues per year

Editor-in-Chief Zhumabek Zhantayev

Chief Editor Nurlan Aselkan

Deputy Editor-in Chief Alexander Gubert

Deputy Editor-in-Chief Nikolay Breussov

Deputy Editor-in-Chief Leonid Chechin

Official Representative in Moscow and Russian Federation

Elvira Khanko

Design and make-up Tatyana Rozhkovskaya

Technical preparation Albert Ajimuratov

Address of Editorial Office: Shevchenko str., 15, 050010, Almaty.

Phone (727) 385-49-36, Fax (727) 293-88-20

e-mail: nurlan1410@mail.ru, info-nckit@yandex.ru

www.cosmos.kz

Certificate of registration № 11 779-Zh from 02.07.2011 issued
by the Ministry of Communications and Information of the
Republic of Kazakhstan Opinion of the authors do not always reflect
the views of the publisher. The advertiser is responsible
for the contents of advertising materials. The reprint of materials
and the use at electronic media is possible only provided a written
agreement with the editorial board.

Printed at

«Synergy Press» 57v, Ryskulov str., Almaty

Circulation 1000 copies

Founder and publisher LLP COSMOS.KZ

Translation and proofreading — Fund for Supporting of Science
and Technologies «SCIENCE»



КАЗКОСМОС

- 2** Решая стратегические задачи
Талгат Мусабаев

АСТРОФИЗИКА

- 8** Развитие исследований по динамике
двойных нестационарных звездных систем
А.А.Беков

ПРИКЛАДНАЯ КОСМОНАВТИКА

- 12** Космический мусор:
проблемы и перспективы
Диденко А.В.
Усольцева Л.А.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

- Программа создания космической системы
дистанционного зондирования
Земли Республики Казахстан
Мусабаев Т.А.,
Молдабеков М.М.,
Мурзакулов Г.Т.,
Нургужин М.Р.,
Дюсенев С.Т.,
Мурушкин С.А.,
Альбазаров Б.Ш.,
Тен В.В.,
18 *Алипбеки О.А.*

ПРИКЛАДНАЯ КОСМОНАВТИКА

- 24** Развитие новых технологий
для использования ресурсов Луны и Марса
Галина Ксандопуло

APPLIED SPACE

- 32** Development of new processes for in-situ
resource utilization (ISRU) on Moon and Mars
Galina Xanthopoulos

НОСИТЕЛИ

- Национальный носитель:
с чего начать
42 Часть 1. Для чего?
Дмитрий Воронцов
48 Часть 2. Вариант реализации
Дмитрий Воронцов

МИРОВАЯ КОСМОНАВТИКА

- 54** 2012: итоги пусковой
программы
Олег Тверской

PAYLOAD

- 60** Гонки на орбите
Олег Тверской

Решая стратегические задачи

Выступление Председателя Казкосмоса Талгата Мусабаяева об итогах деятельности за 2012 год и планах на 2013 год к заседанию расширенной коллегии Казкосмоса с участием Заместителя Премьер-Министра Республики Казахстан Кайрата Келимбетова

Құрметті Қайрат Нематұлы!
Құрметті алқа мәжілісіне қатысушылар!

2012 жыл Қазғарыш үшін өте маңызды болды, өйткені «Ғарыш қызметі туралы» Заң қабылданды. Бұл Заң Қазақстанда ғарыш қызметін жүзеге асырудың құқықтық негізін жасады. Өткен жылы біз жұмысты Стратегиялық жоспардың екі бағыты бойынша жалғастырдық.



Итак, первое направление: «Создание и развитие космической инфраструктуры». Оно включает следующие проекты:

- 1) создание космической системы связи и вещания «KazSat»;
- 2) создание космической системы ДЗЗ;
- 3) создание космической системы научно-технологического назначения;
- 4) создание сборочно-испытательного комплекса КА;
- 5) создание системы высокоточной спутниковой навигации (СВСН);
- 6) создание КРК «Байтерек»;
- 7) участие Казахстана в коммерческом использовании РН «Днепр»;
- 8) обеспечение сохранности и эффективного использования объектов космодрома «Байконур».

Позвольте остановиться на них подробнее.

В рамках создания космической системы связи и вещания «KazSat» реализуются три проекта: создание КА «KazSat-2», КА «KazSat-3» и резервного наземного комплекса управления (РНКУ) КА.



По проекту КА «KazSat-2»

В 2012 году КА «KazSat-2» функционировал в штатном режиме. Все системы спутника работают стабильно, отказов не было. На сегодня загрузка КА «KazSat-2» составляет более 56%. Услуги по аренде спутникового ресурса предоставляются 9 операторам связи Казахстана.

В целях обеспечения полной загрузки КА «KazSat-2» Министерством транспорта и коммуникаций утвержден план-график перехода операторов связи на спутник «KazSat-2». В декабре 2012 года принято постановление Правительства Республики Казахстан о государственной поддержке отечественных поставщиков услуг космической связи.

По проекту КА «KazSat-3»

Работы по проекту создания и запуска КА «KazSat-3» ведутся в рамках договора, заключенного с российской компанией

ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева».

В настоящее время завершены работы по выпуску эскизного и технического проектов, изготовлению полезной нагрузки и солнечных батарей, приборов служебных систем спутника.

По проекту РНКУ

В настоящее время завершены основные строительно-монтажные работы, ведется монтаж электротехнического и телекоммуникационного оборудования, поставлено технологическое оборудование по управлению и мониторингу КА.

Следующий проект — создание космической системы дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ)

По проекту КС ДЗЗ завершены этапы проектирования космической системы и изготовления компонентов

КА высокого и среднего разрешения. Выполняются строительно-монтажные работы по созданию наземного сегмента КС ДЗЗ. Во Франции проходят двухгодичную стажировку на рабочих местах по проектированию, сборке, испытанию и эксплуатации КС ДЗЗ 45 казахстанских специалистов.

Вместе с тем, по проекту имеется нерешенная проблема — необходимо решить вопрос об освобождении от НДС с облагаемого оборота АО «НК КҒС», ASTRIUM SAS и его субподрядных организаций.

Следующий проект — создание сборочно-испытательного комплекса КА (СБИК)

На сегодня завершено детальное проектирование оборудования испытательных участков, ведется их изготовление и поставка, ведется строительство зданий и сооружений СБИК и Специального конструкторско-



технологического бюро (СКТБ) с опытным производством.

С целью повышения местного содержания в производстве КА в ходе реализации проекта принято и согласовано со стратегическим партнером решение о расширении функций СБИК, а именно о дополнении функциями проектирования и конструирования КА, а также функциями изготовления отдельных комплектующих для КА.

В связи с этим возникла необходимость в корректировке проектно-сметной документации СБИК, которая в свою очередь потребует дополнительной государственной экспертизы, согласования с уполномоченными органами, и соответственно увеличения финансирования.

Следующий проект — создание системы высокоточной спутниковой навигации (СВСН)

В рамках проекта в 2012 году введены в эксплуатацию Региональная дифференциальная система в составе 10 дифференциальных станций (ДС) и Регионального центра в г. Астана и мобильная ДС.

Разработаны и утверждены технические проекты по созданию Центра дифференциальной коррекции и мониторинга, сети ДС, морской локальной ДС, разработке навигационной аппаратуры пользователей.

Проведены строительно-монтажные работы здания Центра СВСН на территории Национального космического центра в г. Астана. Завершены опытно-конструкторские работы по созданию отечественного образца ДС.

Следующий проект — создание КРК «Байтерек»

В рамках проекта разработаны и утверждены «Ме-

тодические рекомендации по расчету стоимости опытно-конструкторских работ КРК «Байтерек».

Разработано техническое задание, составлены сметные расчеты, подготовлен проект договора на производство инженерно-экологических изысканий.

Разработаны проекты базовых договоров и технических заданий на выполнение ОКР КРК «Байтерек», разработку проектной и рабочей документации сооружений и объектов комплекса.

Вместе с тем, в связи с принятием Российской Федерацией решения о создании на космодроме «Восточный» КРК на базе РН «Ангара» встал вопрос о целесообразности создания КРК «Байтерек» на базе РН «Ангара».

В ходе встречи Глав государств Казахстана и России в г. Астане достигнута договоренность о проработке новых подходов в дальнейшей реализации проекта КРК «Байтерек».

В рамках исполнения поручений Глав государств экспертами Казкосмоса и Роскосмоса достигнуто взаимопонимание о возможности и целесообразности перевода проекта КРК «Байтерек» с РН «Ангара» на РН «Зенит». В настоящее время ведется проработка вариантов использования РН «Зенит» в рамках проекта создания КРК «Байтерек».

По проекту участия Казахстана в коммерческом использовании РН «Днепр»

За 2012 год Национальной компанией «Қазақстан Ғарыш Сапары», владеющей 10% акций ЗАО «МКК «Космотрас», получены дивиденды в сумме 9,7 млн. тенге.

В Федеральную антимонопольную службу Российской Федерации (ФАС РФ) направлено ходатайство о согласовании сделки по приобретению 23,3 % акций ЗАО «МКК

«Космотрас». Официальное уведомление ФАС РФ о согласовании данной сделки казахстанской стороной получено.

Следующий проект — обеспечение сохранности объектов и эффективности управления имуществом комплекса «Байконур»

Запланированные работы в 2012 году выполнены, обеспечена охрана 131 объекта комплекса «Байконур», не вошедшего в состав аренды Российской Федерацией и исключенного из него.

Работы по утилизации и рекультивации объектов выполнены в полном объеме.

Теперь о втором стратегическом направлении — «Развитие научной и научно-технологической базы космической деятельности».

С целью повышения местного содержания в создании и применении космической техники и технологий продолжены работы по развитию:

первое — научной и опытно-экспериментальной базы космических исследований,

второе — системы экологического нормирования космической деятельности,

третье — международного сотрудничества в области космической деятельности,

четвертое — кадрового потенциала в области космической деятельности.

Итак, первое — о развитии научной и опытно-экспериментальной базы космических исследований.

В отчетном году выполнялись прикладные научные исследования по следующим направлениям:

- развитие научно-экспериментальной базы астрофизических исследований;
- создание системы мониторинга и прогноза космической погоды;
- создание системы наземно-космического геоина-



мического и геофизического мониторинга земной коры;

- развитие Национальной системы космического мониторинга;
- разработка отечественных образцов космической техники.

Подготовлены и представлены в МЭРТ РК финансово-экономические обоснования (ФЭО) по 3 инвестиционным проектам:

1. Создание комплекса наземно-космического мониторинга геофизического состояния ближнего космоса, ионосферы и литосферы.
2. Модернизация сети технологических комплексов приема, обработки и архивации данных ДЗЗ.
3. Создание научно-экспериментальной лаборатории разработки и испытания космической техники и технологий.

ФЭО проходят экономическую экспертизу в МЭБП РК.

Также разработано и представлено в МЭБП РК бюджетное инвестиционное предложение по проекту «Модернизация экспериментального астрономического комплекса Республики Казахстан».

Согласно заключению МЭБП РК, рассмотрение проекта ввиду неблагоприятной финансовой ситуации отложено на 2015 год.

Второе — о развитии системы экологического нормирования космической деятельности.

В 2012 году по результатам прикладных научных исследований по вопросу о влиянии пусков РН на окружающую среду разработано 4 нормативно-технических документа.

Издан атлас экологической безопасности ракетно-космической деятельности.



Поданы и зарегистрированы в РГП «КазИнМетр» 3 заявки на выдачу инновационного патента РК на изобретения.

Третье — о развитии международного сотрудничества в области космической деятельности.

В 2012 году продолжена работа по формированию и совершенствованию договорно-

правовой базы космической деятельности в рамках международного сотрудничества:

- подписан Меморандум о взаимопонимании по сотрудничеству в области космической деятельности между Казкосмосом и Агентством по геоинформатике и развитию космических технологий Королевства Таиланд в г. Астана;

- подписаны меморандум о взаимопонимании и сотрудничестве между Акционерным обществом «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш Сапары» и компанией IABG (Германия) и дистрибьюторское соглашение по распространению продукции между компанией Spot Image S.A. (Франция) и АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш Сапары».

В рамках исполнения поручений Главы государства по вопросу разработки и подготовки к подписанию всеобъемлющего двустороннего соглашения разработан первый вариант проекта Соглашения между Республикой Казахстан и Российской Федерацией о дальнейшем сотрудничестве по использованию комплекса «Байконур». Проект Соглашения в ноябре 2012 года направлен для рассмотрения в Роскосмос. 3 января 2013 года получен ответ от Роскосмоса с предложением дальнейшей их проработки.

Четвертое — о развитии кадрового потенциала в области космической деятельности.

В 2012 году проведено 8 учебных семинаров повышения квалификации специалистов космической отрасли, в которых приняло участие 120 работников Казкосмоса и его подведомственных организаций.

Организована стажировка 20 специалистов подведомственных организаций Казкосмоса в учебных и научных центрах космической отрасли России, Украины и Германии.

Продолжена подготовка специалистов для космической отрасли по специальности «Космическая техника и технологии» в 5 Вузах Казахстана. Продолжено обучение 29 стипендиатов программы «Болашак» по 9 космическим специальностям в России, Ирландии, Малайзии, Великобритании, США и Канаде.

Продолжено обучение 205 казахстанских студентов в филиале Московского авиационного института в городе Байконыр.

Заканчивая доклад о проделанной работе за 2012 год, уважаемый Кайрат Нематович, уважаемые коллеги, разрешите доложить о планах Казкосмоса на 2013 год.

Итак, в 2013 году основными работами являются следующие:

- проектирование и изготовление КА «Казсат-3» и ввод в эксплуатацию резервного наземного комплекса управления КА связи;

- изготовление и испытания космической системы ДЗЗ, запуск КА ДЗЗ среднего разрешения;

- строительство зданий СБИК и СКТБ с опытным производством;

- производство 50 дифференциальных станций СВСН, создание морской локальной ДС, сети ДС;

- согласование с российской стороны механизмов создания КРК «Байтерек» и внесение соответствующих изменений в Межправсоглашение о создании КРК «Байтерек»;

- реализация проектов развития научной и опытно-экспериментальной базы космических исследований;

- развитие кадрового потенциала космической отрасли и международного сотрудничества в области космической деятельности.

Уважаемые коллеги!

Работа Казкосмоса в этом году будет продолжаться под эгидой Послания Президента Республики Казахстан народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050» — новый политический курс состоявшегося государства», в котором Глава государства поставил конкретную задачу: «К 2030 году Казахстан должен расширить свою нишу на мировом рынке



космических услуг и довести до логического завершения ряд начатых проектов».

Поставлена высокая стратегическая цель, для достижения которой необходимо значительно повысить интенсивность и качество работы Казкосмоса. Для решения этой серьезной задачи будет необходимо приложить максимум сил и знаний

коллектива Казкосмоса, проявить волю и настойчивость в выработке и проведении обоснованной и выверенной научно-технической политики по созданию отечественной космической отрасли. В этом мы надеемся на всестороннюю поддержку нашего Правительства.

Спасибо за внимание! ■

Развитие исследований по динамике двойных нестационарных звездных систем

А.А.БЕКОВ

Институт космических исследований
имени академика У.М.Султангазина АО «НЦКИТ»
e-mail: bekov@mail.ru

Рассматривается развитие исследований по динамике двойных звездных систем, связанных с выявлением важной роли корпускулярного излучения или аккреции массы и других факторов нестационарности ряда физических параметров гравитирующих и излучающих звезд в процессе эволюции.



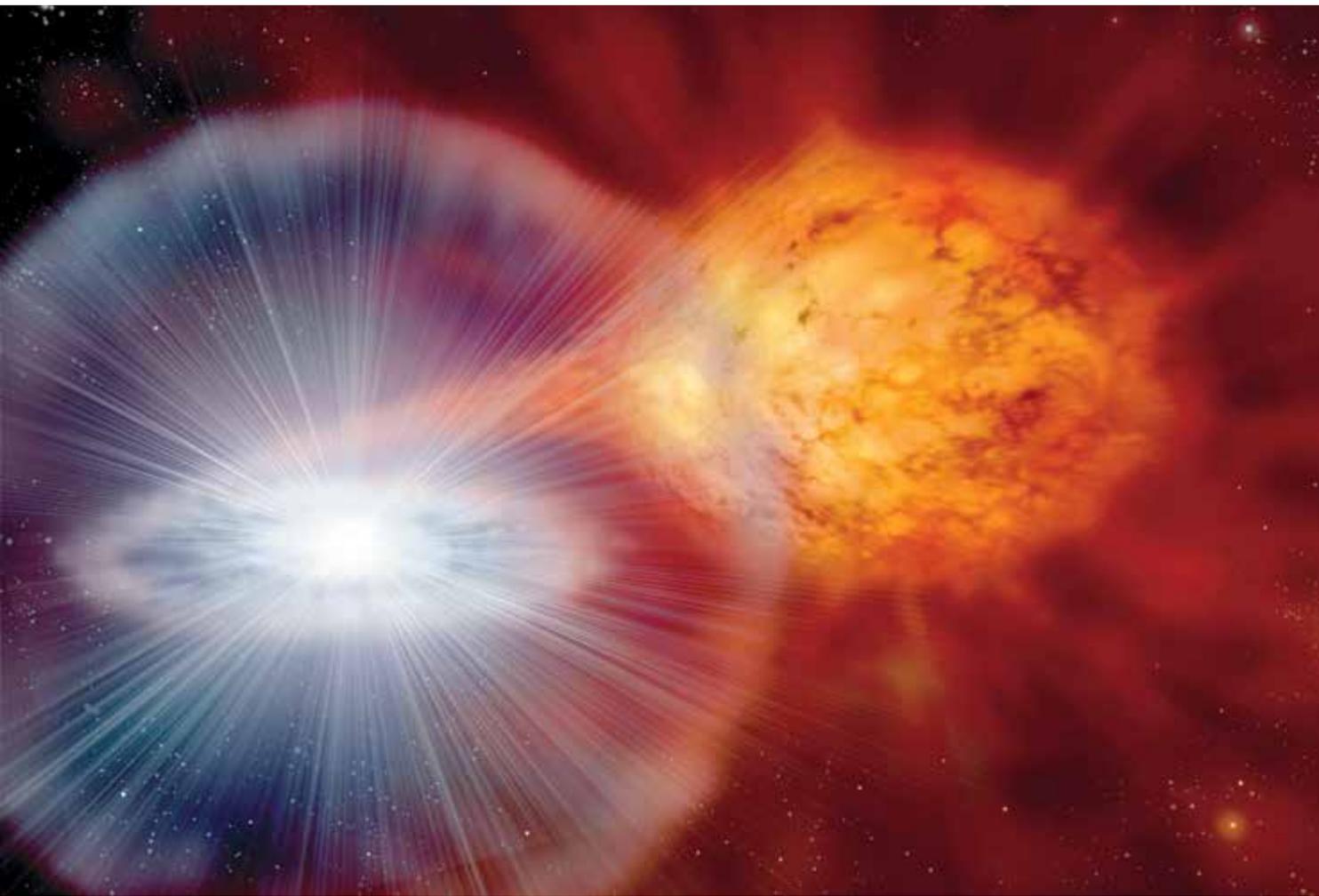
Исследования нестационарных задач небесной механики являются актуальными как в плане фундаментальных исследований при разработке качественных, аналитических и численных методов, так и в отношении практических приложений к ряду насущных задач исследований движения искусственных и естественных небесных тел. Сейчас достигнутые успехи в области моделирования нестационарных схем задач небесной механики и потребности развития науки и техники приводят к необходимости учета диссипативных факторов для создания высокоточных теорий движения космических аппаратов и небесных тел.

История и развитие исследований по небесной механике тел переменной массы описаны в ряде опубликованных отечественных и зарубежных изданий, статей и обзоров, например [1-3]. Исследования нестационарных задач небесной механики стимулировались необходимостью учета фактора

переменности массы в связи с выявлением важной роли корпускулярного излучения в эволюции звезд, а в последующем и изменением ряда других физических характеристик, в развитии гравитирующих систем ближнего и дальнего космоса.

Реальные гравитирующие системы являются, по существу, нестационарными. Наблюдательные данные свидетельствуют об изменении со временем различных физических параметров гравитирующих тел и ряда других важнейших в динамическом отношении характеристик в процессе эволюции. В связи с этим является актуальным исследование задач небесной механики, учитывающих различные факторы нестационарности и позволяющих выявить динамические особенности эволюции гравитирующих систем, существенную роль в которых играют процессы изменения масс и других физических параметров взаимодействующих тел [3].

В звездной динамике также исследование вопросов



эволюции звездных систем [4] приводит к исследованию нестационарных задач, поскольку все эволюционные процессы по своему существу являются формой нестационарного движения звездных систем. Однако, как отмечено [4], следует признать, что решение и даже формулировка задач нестационарного движения является достаточно сложной. Совершенно закономерно рассмотрение стационарных задач подводит вплотную к необходимости в виде следующего шага перейти к рассмотрению нестационарных процессов, которые и послужат основой научной теории эволюции звездных систем.

Методы небесно-механического описания кратных звездных систем и космических объектов с учетом диссипа-

тивных факторов эволюции, включающие различные факторы нестационарности гравитирующих систем, являются новыми и могут выявить качественные свойства и особенности гравитационного взаимодействия в таких системах.

Значительная часть наблюдаемых звезд являются двойными. Изучение двойных звезд всегда занимало одно из центральных мест в звездной астрономии нового времени, хотя основное направление работы изменялось: от регистрации факта двойственности к изучению орбитального движения, физических свойств компонент, образования и эволюции тесных двойных систем [5]. Целые классы традиционных и вновь открытых звезд оказались обязанными всеми свои-

ми основными особенностями факту их двойственности.

Отмечено [5], что подавляющая часть звезд нашей Галактики входит в состав двойных систем. Около половины их являются тесными двойными. Двойственность значительно обогащает эволюцию компонент, и в первую очередь это относится к тесным двойным звездам, компоненты которых взаимодействуют в ходе эволюции. Кроме этого, как показали работы последних лет [5], целый ряд интересных типов звезд — новые, симбиотические звезды, катаклизмические переменные, звезды Вольфа-Райе, рентгеновские источники — являются тесными двойными звездами. Все это привлекает особое внимание к исследованию двой-



ных звезд, как с наблюдательной, так и с теоретической точки зрения. Исследование динамической эволюции тесной двойной системы — сложная задача и решается она только при использовании целого ряда упрощающих предположений.

Исследование динамики двойных нестационарных гравитирующих систем необходимо для понимания многих явлений в звездных системах, так как двойственность является типичной характеристикой звезд: результаты исследований встречаемости двойных звезд позволяют утверждать, что двойственность — весьма распространенное явление в мире звезд [5], а истечение вещества наблюдается из множества звезд различных спектральных классов [6], причем внеатмосферные наблюдения показали, что истечение вещества в форме звездного ветра присуще всем звездам ранних спектральных классов и уси-

ливается на поздних стадиях эволюции [7].

Результаты ранних работ по корпускулярному излучению, как некоторому закономерному и непрерывному процессу истечения массы, имеющему место для всех звезд, в том числе и для Солнца, и являющемуся фактором звездной эволюции [8-10], получили подтверждение и дальнейшее развитие в наблюдательных и теоретических данных (см. например, [5-7]). В результате наблюдений выяснилось, что нестационарность небесных тел при истечении либо аккреции массы может быть связана с дополнительными сопутствующими факторами переменности размеров и формы самих тел.

Основой изучения динамики двойных стационарных гравитирующих систем является задача двух тел (материальных точек) постоянной массы — классическая кеплеровская задача двух тел. Описание динамики более сложных кратных

систем базируется на хорошо разработанной в небесной механике теории возмущений. Многие результаты по динамике гравитирующих систем получены на основе уже более сложных задач трех и многих тел небесной механики.

Основой изучения двойных нестационарных гравитирующих систем является задача двух тел (материальных точек) переменной массы в постановке Гильдена-Мещерского, Мещерского-Леви-Чивита, объединенной задачи Гильдена-Мещерского-Мещерского-Леви-Чивита [11, 12].

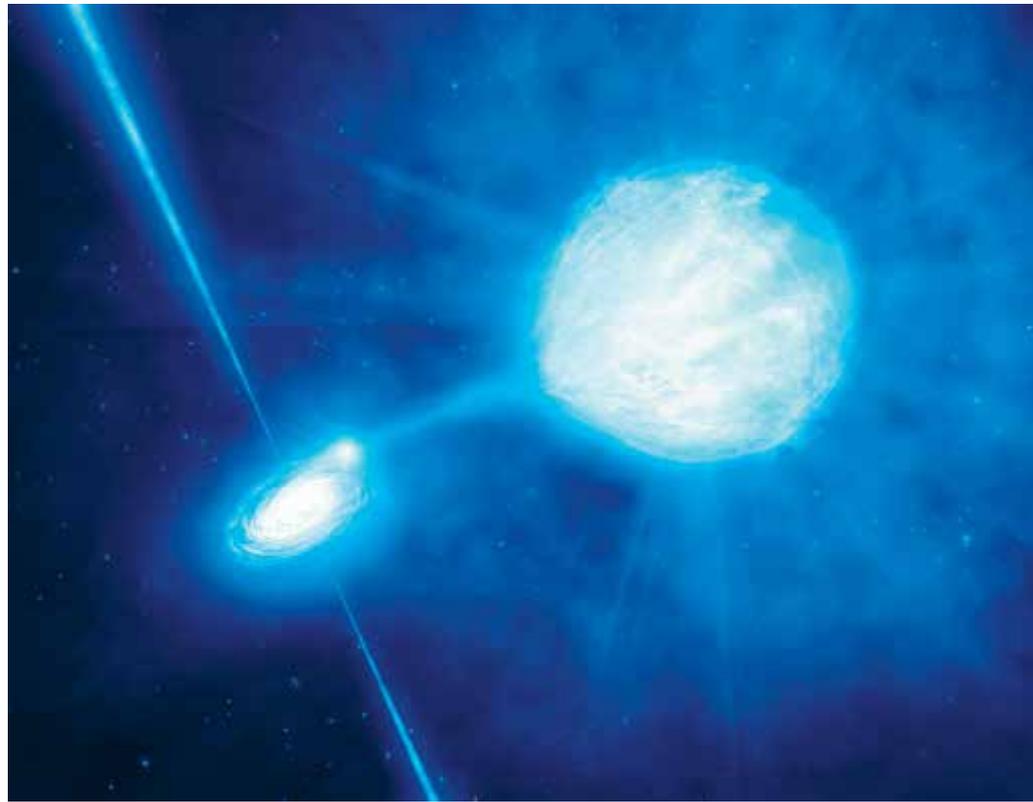
Исследования задач небесной механики тел переменной массы проводятся уже в течение более ста лет, и в ближнем зарубежье основной вклад в развитии этих исследований сделан российскими учеными. Среди них следует отметить ранние работы Г.Н.Дубошина по качественному исследованию форм орбит в задаче двух тел переменной массы, и его книгу по небесной механике, обобщающую ньютоновское взаимодействие тел на более общие законы Вебера и обобщенные нестационарные силы взаимодействия небесных тел [13]. Мировой перечень имен ученых как отечественных, так и ученых ближнего и дальнего зарубежья, а также результаты исследований задач небесной механики тел переменной массы в различных направлениях можно найти в указанных обзорах [1-3]. Современные исследования в области нестационарных задач небесной механики включают помимо переменности масс космических тел и другие факторы нестационарности (переменность светового давления звезд, изменение размеров и формы тел, вариации гармоник геопотенциала, диссипативные явления, связанные с сопутствующим гравитирую-

щим фоном и др.). В рамках ньютоновской механики анализируется и сопоставляется проблема изменения гравитационной постоянной (гипотеза Дирака [14]) и возможность одновременного изменения масс всех тел [15].

В последнее время получено дальнейшее развитие модельных схем нестационарных задач небесной механики. Исследования околоземного космического пространства, повышение точности прогнозирования и определения орбит небесных тел, новые наблюдательные и теоретические данные требуют включения дополнительных эволюционных факторов в рассматриваемые модели. К числу таких факторов относится нестационарность различных физических параметров гравитирующих и излучающих тел.

Исследования последних десятилетий в области нестационарных задач небесной механики свидетельствуют об актуальности развития этого направления [3].

Можно отметить задачи, представляющие интерес для проблем небесной механики и необходимые для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований. Важным является дальнейшее развитие теории движения искусственных спутников с учетом сжатия Земли, сил сопротивления атмосферы, светового давления и дополнительных диссипативных факторов эволюции орбит. Разработка поступательно-вращательного движения спутника в нецентральной нестационарном поле тяготения. Разработка и исследование спутникового варианта ограниченной нестационарной задачи трех тел. Исследование ограниченной фотогравитационной нестационарной задачи двух и трех тел. Результаты исследования указанных нестационарных задач дают новые ка-



чественные свойства движения и имеют важное значение для задач динамики искусственных и естественных небесных тел.

Полученные результаты могут быть использованы при

исследовании других более сложных нестационарных схем задач двух и многих тел небесной механики и имеют важное значение в изучении динамической эволюции нестационарных гравитирующих систем. ■

Литература:

1. Михайлов Г.К. // Исследования по истории физики и механики. М.: Наука. 1985. С.233-254.
2. Поляхова Е.Н. // Астрон. журнал. 1994. Т. 71, № 2. С. 321-331.
3. Bekov A.A., Omarov T.B. // Astron. and Astrophys. Transactions, 2003. Vol. 22 (2). P.143 -153.
4. Огородников К.Ф. Динамика звездных систем. М.: ГИФМЛ. 1958. 644 с.
5. Масевич А.Г., Тутуков А.В. Эволюция звезд: теория и наблюдения. М.: Наука. 1988. 280 с.
6. Де Ягер К. Звезды наибольшей светимости. М.: Мир. 1984. 493 с.
7. Лозинская Т.А. Сверхновые звезды и звездный ветер: Взаимодействие с газом Галактики. М.: Наука. 1986. 304 с.
8. Фесенков В.Г. // Астрон. журн. 1949. Т. 26, вып. 2. С. 67-83.
9. Масевич А.Г. // Астрон. журн. 1951. Т. 28, вып. 1. С. 36-42.
10. Фесенков В.Г. Корпускулярная радиация как фактор эволюции Солнца и звезд. М.: изд-во АН СССР. 1952. 71 с.
11. Мещерский И.В. Работы по механике тел переменной массы. М.: ГИТТЛ. 1949. 276 с.
12. Гельфгат Б.Е. // Бюлл. ИТА АН СССР. 1959. Т. 7, № 5. С 354-362.
13. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Наука. 1978. 456 с.
14. Dirac P.A.M. // Cosmology, Fusion and other Matters. Boulder. Colo. 1972. P. 56-59.
15. Mc Crea W.H. // Observatory. 1978. Vol. 98, №1023. P. 52-54.

Космический мусор: проблемы и перспективы



ДИДЕНКО А.В.

ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова»



УСОЛЬЦЕВА Л.А.

ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова»



История освоения человеком космического пространства начинается с 1957 года, с момента запуска в СССР первого ИСЗ. Прошло чуть больше полувека. Мы спокойно воспринимаем сообщения о запуске очередного экипажа на международную космическую станцию, посадке земного аппарата на Луну или Марс, пользуемся услугами Интернета, не особо задумываясь о том, что есть у всех этих достижений и негативная сторона — космический мусор. Эта проблема, возникшая в 20-м веке, будет досажать нам еще не одно столетие. Количество выведенных на орбиту спутников ежегодно увеличивается: в конце 50-х — начале 60-х гг. — десятки, с середины 60-х — 110–120 в год (в 90-х темпы немного понизились). Из общей массы

каждого запуска полезная нагрузка составляет примерно 1%, около 85% приходится на топливо, 14% — на систему запуска. И все это — отработавшие, но оставшиеся на орбите спутники, верхние ступени и разгонные блоки ракет-носителей, сброшенные топливные баки, фрагменты разрушенных космических объектов, а также крышки, заглушки и т.п. становится космическим мусором.

Хорошей иллюстрацией процесса накопления объектов искусственного происхождения в околоземном пространстве служат сведения, публикуемые NASA (см. рис.1).

Срок эксплуатации космического аппарата (КА), как правило, пять – десять лет. Потом он технологически устаревает, и его заменяют новым. В настоящее время 95% спутников, выведенных на околоземные

орбиты, уже не работают, т.е. они пополнили запасы космического мусора. Большой вклад в эти запасы вносят аппараты и детали, сопутствующие запуску. В зависимости от начальных условий, они могут выйти за пределы земного тяготения, остаться на околоземных орбитах или сгореть в атмосфере Земли. Кроме того, происходят единичные взрывы отработавших частей ракет с остатками топлива. В силу разных причин взрываются и действующие аппараты. Бывали умышленные взрывы в целях сохранения секретности или при испытании оружия. Зафиксированы многочисленные случаи столкновений фрагментов космического мусора с работающими и нефункционирующими спутниками.

Начинает сказываться и перенаселенность наиболее удобных орбит. На низких околоземных орбитах находятся сейчас несколько сотен активных и бо-

лее двух с половиной тысяч неработающих спутников. На геостационарных орбитах (высота над поверхностью Земли около 36 тыс. км) ситуация сложнее. Время баллистического существования объектов в космическом пространстве очень велико. Если на низких околоземных орбитах оно составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч лет, то на геостационарных эта цифра может достигать миллиона лет. Т.е. практически весь космический мусор остается на геостационарных орбитах (ГСО) навсегда, накапливаясь со временем и увеличивая вероятность столкновения со всем, что там находится.

По оценкам специалистов, сегодня в околоземном космическом пространстве (ОКП) находится свыше 200 тысяч объектов размером более одного сантиметра и свыше 330 миллионов объектов размером более одного миллиметра. Из-за них любая космическая мис-

сия связана с немалым риском. Особая опасность космического мусора заключается в том, что он перемещается в пространстве с огромной скоростью. Скорости столкновений могут доходить до 15 км/сек, поэтому даже частица размером в 1 см способна серьезно повредить КА.

В ближайшем будущем ситуация, увы, не улучшится. Рост населенности ближнего космоса будет обусловлен как новыми запусками, так и столкновениями между элементами космического мусора и их лавинной фрагментацией. Засорению орбит, наиболее часто используемых коммерческими спутниками, способствуют и неконтролируемые испытания средств вооруженной борьбы в космосе.

Нельзя сказать, что мировое сообщество не принимает никаких мер для решения этих проблем. В той или иной мере сейчас все государства экс-

Monthly Number of Objects in Earth Orbit by Objekt Type

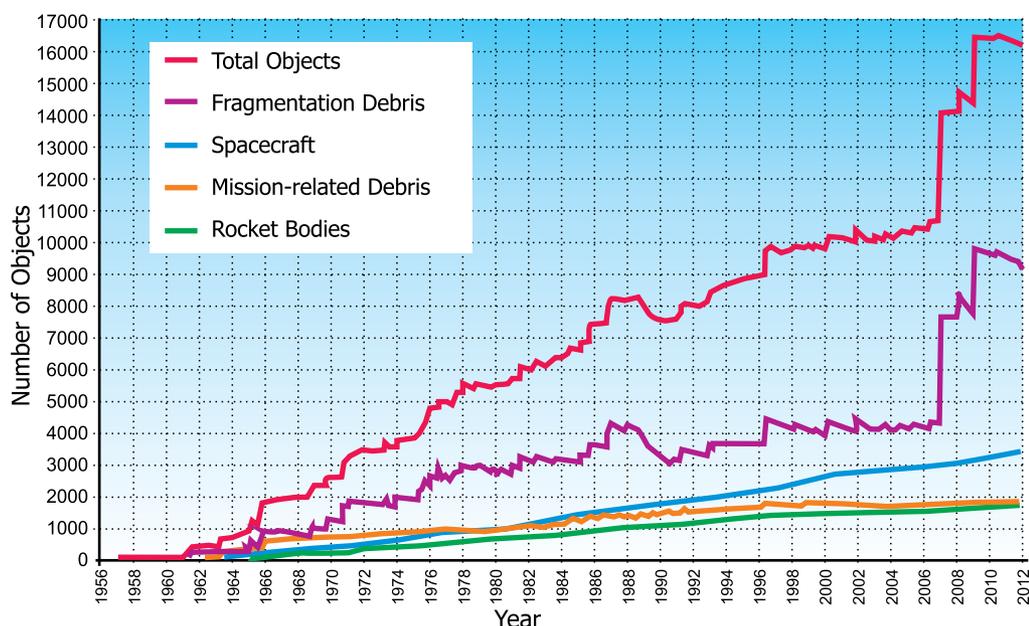


Рисунок 1 — Накопление объектов искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве (<http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/newsletter.html>)

Monthly Number of Cataloged Objects in Earth Orbit by Object Type: This chart displays a summary of all objects in Earth Orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network. "Fragmentation debris" includes satellite breakup debris and anomalous event debris, while "mission-related debris" includes all objects dispensed, separated, or released as part of the planned mission.



платируют околоземное космическое пространство. Если существует опасность столкновений действующих аппаратов с космическим мусором, то значительно увеличиваются риски непреднамеренного уничтожения и стоимость страхования аппаратов, снижается рентабельность космических программ, появляются основания для взаимных претензий стран-участниц. Официальное признание на международном уровне проблема получила после доклада Генерального секретаря ООН «Воздействие космической деятельности на окружающую среду» 10 декабря 1993 г. В нем было подчеркнuto, что проблема космического мусора имеет

международный, глобальный характер: нет засорения национального околоземного космического пространства, есть засорение космического пространства Земли, одинаково негативно влияющее на все страны. Был создан Комитет по космическому мусору при ООН, в который входят космические агентства заинтересованных государств, начата разработка национальных и международных стандартов по предотвращению засорения при запусках и эксплуатации космических систем, по соблюдению этих стандартов.

Согласно рекомендациям международных организаций (Межагентский координационный комитет по космическому

мусору (IADC) и Научно-технический подкомитет Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях (STCS UN COPUOS и др.), [UNCOPUOS Scientific and Technical Subcommittee // Technical Report on Space Debris, A/AC.105/720, May 1999] сотрудничество по проблематике космического мусора должно развиваться по следующим приоритетными направлениям:

- экологический мониторинг ОКП, включая область геостационарной орбиты, наблюдение за космическим мусором и ведение каталога объектов космического мусора;
- математическое моделирование космического мусора;

ра и создание международных информационных систем для прогноза засоренности космического пространства и ее опасности для космических полетов, а также информационного сопровождения событий опасного сближения космических объектов и их неконтролируемого входа в плотные слои атмосферы;

- разработка способов и средств защиты космических аппаратов от воздействия высокоскоростных частиц космического мусора;

- разработка и внедрение мероприятий, направленных на снижение засоренности космоса в результате военных испытаний.

Никаких методов очистки космического пространства от мусора пока не существует. Поэтому в ближайшем будущем основное внимание будет уделено разработке мероприятий, исключающих образование мусора. Так, например, в 2002 году Межведомственным координационным комитетом по космическому мусору, были разработаны «Правила, направленные на смягчение проблемы космического мусора». В них, в частности, указано, что все запускаемые аппараты должны иметь на борту резервные запасы топлива. Запас необходим для того, чтобы после завершения срока работы можно было перевести КА на более низкую орбиту («сжечь» в атмосфере) или поднять на «орбиту захоронения» (200 – 300 км над ГСО). Желательно также оснащать спутники дополнительными системами управления, способными в случае поражения аппарата частицами мусора уводить его с рабочих орбит.

К сожалению, меры, предлагаемые ООН, — это только рекомендации. Им можно следовать, а можно и проигнорировать. Пока единственный (но не всегда действенный) способ



Рисунок 2 — Долготное распределение геостационарных спутников в зоне, контролируемой ПН РК.

— отслеживать как работающие КА, так и фрагменты космического мусора, представляющие угрозу для столкновения. Наземные пункты наблюдений за ближним космосом работают по всему земному шару, но их возможности ограничены. На низких орбитах удается наблюдать фрагменты, линейные размеры которых составляют не менее 10 см, на ГСО — до 1 м. Полученные данные регистрируются в специальных каталогах. Периодическое обновление сведений о засоренности космоса и пространственном распределении отслеживаемых аппаратов и фрагментов позволяет (в большей или меньшей степени) контролировать состояние околоземных орбит.

По сведениям, представляемых NASA в <http://celestrak.com/satcat/boxscore.asp>, наземными службами контроля зарегистрированы 39056 объектов искусственного происхождения, из них 22167 разрушенных (состояние на 11.01.2013). Но регулярные международные наблюдения области ГСО, в т.ч. с использованием 1-м телескопов, выявили наличие сотен не каталогизированных 10–50 см фрагментов. Как правило, обнаружение и сопровождение слабых объектов представляет большие трудности для наземных служб контроля, поэтому количественные данные о малоразмерных фрагментах, имеющиеся у разных авторов, могут существенно различаться



и не соответствовать их реальному содержанию.

Ни одна из космических держав не в состоянии непрерывно отслеживать все объекты, находящиеся на околоземных орбитах. Причиной этого является недостаточное количество средств обнаружения и сопровождения, ограниченность их возможностей и постоянное увеличение числа неконтролируемых объектов. Наиболее полную информацию о состоянии околоземных орбит имеют США и Россия, у которых есть свои системы контроля космического пространства (Space Surveillance Network США и ЦККП РФ). Собственную систему контроля

на базе радаров и телескопов создает Европа. Но эффективный контроль за состоянием ОКП и разработка связанных с этим научных и прикладных проблем возможны лишь при объединении усилий и средств всех заинтересованных стран и организаций.

Свой вклад в решение проблем, связанных с состоянием околоземного пространства, вносила и вносит Республика Казахстан. Все-таки история освоения космоса началась в Казахстане — первый ИСЗ и первый космонавт были запущены с Байконура — самого большого космодрома Земли. На геостационарной орбите находятся сейчас два казахстанских спут-

ника: Казсат-1 и Казсат-2. (К сожалению, РК «внесла» свою долю и в копилку космического мусора в виде Казсата-1 и его разгонного блока).

Наземные наблюдения ИСЗ начались в Казахстане сразу после запуска первого спутника. Астрофизический институт АН РК всегда был одной из ведущих организаций в сети наземных станций оптических наблюдений СССР, принимал активное участие во всех мероприятиях, связанных с исследованиями на основе наблюдений ИСЗ и ГСС, проводимых в рамках союзных и международных программ. С начала 1980-х годов здесь проводится регулярное сопровождение

работающих аппаратов и крупных фрагментов космического мусора на ГСО. Наземные пункты наблюдений (ПН) РК имеют выгодное географическое положение: они расположены в долготном разрыве между европейскими и американскими ПН. В зоне их видимости находятся все корректируемые геостационарные спутники с точками стояния от 10° до 140° в.д. Кроме того, их долгота близка к долготе точки либрации 75° Е, что позволяет контролировать практически все пассивные ГСС, находящиеся в зоне ее влияния. Информационная База Данных (БД) и Зональный каталог геостационарных спутников, ведущиеся уже больше 20 лет, на начало 2013 года содержат координатную информацию для 1062 ГСС не слабее 16m. Из них 266 — активные, все остальное — отработавшие свой срок аппараты и крупные фрагменты космического мусора. На рисунке 2 представлено долготное распределение геостационарных спутников в зоне, контролируемой ПН РК.

Важным преимуществом нашей БД является наличие фотометрической информации практически для всех типов запускаемых ГСС. Совместный анализ позиционной и некоординатной информации необходим для определения пространственной ориентации КА, отражательных свойств его покрытия и ряда других параметров, используемых для идентификации объекта и, в конечном итоге, для определения его функционального назначения в случае, если объект не фигурирует в открытых каталогах.

Эти же сведения могут быть использованы при возникновении аварийных ситуаций на околоземных орбитах. В качестве примера их эффективного применения можно сослаться на результаты ана-

лиза наземной информации, выполненной сотрудниками Астрофизического института, для российских спутников связи «Ямал-101» и «Экспресс АМ-11». Наши пункты наблюдений имели подробную координатную и фотометрическую информацию по отечественному спутнику связи Казсат-1 и отслеживали его поведение с момента выведения спутника в точку стояния. О том, что в его работе возникла нештатная ситуация, стало ясно уже в январе 2008г. Анализ информации позволил также установить возможную причину отказа.

Проводимые исследования околоземного космического пространства показывают наличие существенных пробелов в современных знаниях о популяции космического мусора на геостационарных орбитах. Количество вновь открываемых высокоорбитальных фрагментов растет, поэтому исследования этой области пространства необходимо продолжать и расширять с целью выявления как можно большего числа потенциально опасных объектов, пересекающих орбиты функционирующих космических аппаратов.

Усложнение задач контроля за ОКП требует совершенствования наземных систем слежения. Это может быть достигнуто за счет использования более мощных оптических инструментов, оборудованных современными ПЗС-матрицами, и применения усовершенствованных методик наблюдения объектов космического мусора. В планах работ отечественных ученых — расширить круг сопровождаемых объектов до 18м-19м (что соответствует фрагментам размерами 50-30 см), подключив к наблюдениям 1-м телескоп Тянь-Шанской обсерватории. Это позволит существенно расширить и



дополнить представления о реальной ситуации с засоренностью в области ГСО, создать основу для формирования архива слабых ГСС, необходимого для изучения их физических свойств и вероятных источников образования. Получаемая информация может быть использована отечественными и зарубежными центрами обработки информации для выполнения совместных международных научных программ, при анализе аварийных ситуаций на околоземных орбитах, моделировании обстановки в околоземном космическом пространстве, разработке механизмов контроля за его мирным использованием. ■

Программа создания космической системы дистанционного зондирования Земли Республики Казахстан

МУСАБАЕВ Т.А., МОЛДАБЕКОВ М.М.,
Национальное космическое агентство РК

МУРЗАКУЛОВ Г.Т., НУРГУЖИН М.Р., ДЮСЕНЕВ С.Т.,
МУРУШКИН С.А., АЛЬБАЗАРОВ Б.Ш.,
ТЕН В.В., АЛИПБЕКИ О.А
АО «НК«Казахстан Ғарыш Сапары»»



Введение

Республика Казахстан (далее — РК) планирует запустить в эксплуатацию космическую систему (КС) дистанционного зондирования Земли (далее — ДЗЗ), состоящую из двух малых космических аппаратов (далее — КА) массой до 1000 кг с оптической полезной нагрузкой высокого разрешения (ВР) 1м в панхроматическом канале (далее — ПАН) и 4м в МСС — мультиспектральных) и другая оптическая система среднего разрешения (СР) (6.5 м в пяти мультиспектральных каналах). В состав системы будет включен наземный сегмент — комплекс управления аппаратами, а также комплекс приема и обработки целевой информации. Данная система является результатом совместной работы казахстанской компании АО«Национальная компания «Казахстан Ғарыш Сапары»» (далее-КҒС) с компанией Астриум, подразделением, занимающимся осуществлением космических программ. Астриум разработал и изготовил космическую систему высокого разрешения на предприятии, находящемся в г.Тулуза (Франция), субподрядчиком по си-

стеме среднего разрешения выступила ее дочерняя компания SSTL из г. Гилдфорд (Великобритания).

Создаваемые КА будут использоваться для получения снимков территории РК, а также других участков Земли в целях мониторинга, предотвращения стихийных бедствий, картографирования, проведения земельного кадастра и т.д.

Как отмечается в [1], появление класса малых КА ДЗЗ имеет политические последствия, поскольку позволяет сравнительно небольшим странам создавать собственные спутники ДЗЗ, которые могут быть использованы в различных целях.

В качестве платформы КА ВР будет использована имеющая большую летную историю платформа AS-500 (SPOT-6,7), в качестве полезной нагрузки (далее — ПН) — зеркальный телескоп системы Корша (аналогично ПН, например, AlSat-2).

КА СР создан на платформе SSTL-150, имеющей большую положительную летную историю (DMC-4, группировка RapidEye) и телескоп системы ТМА, фирмы Jena-Optronik, идентичный ПН КА RapidEye.

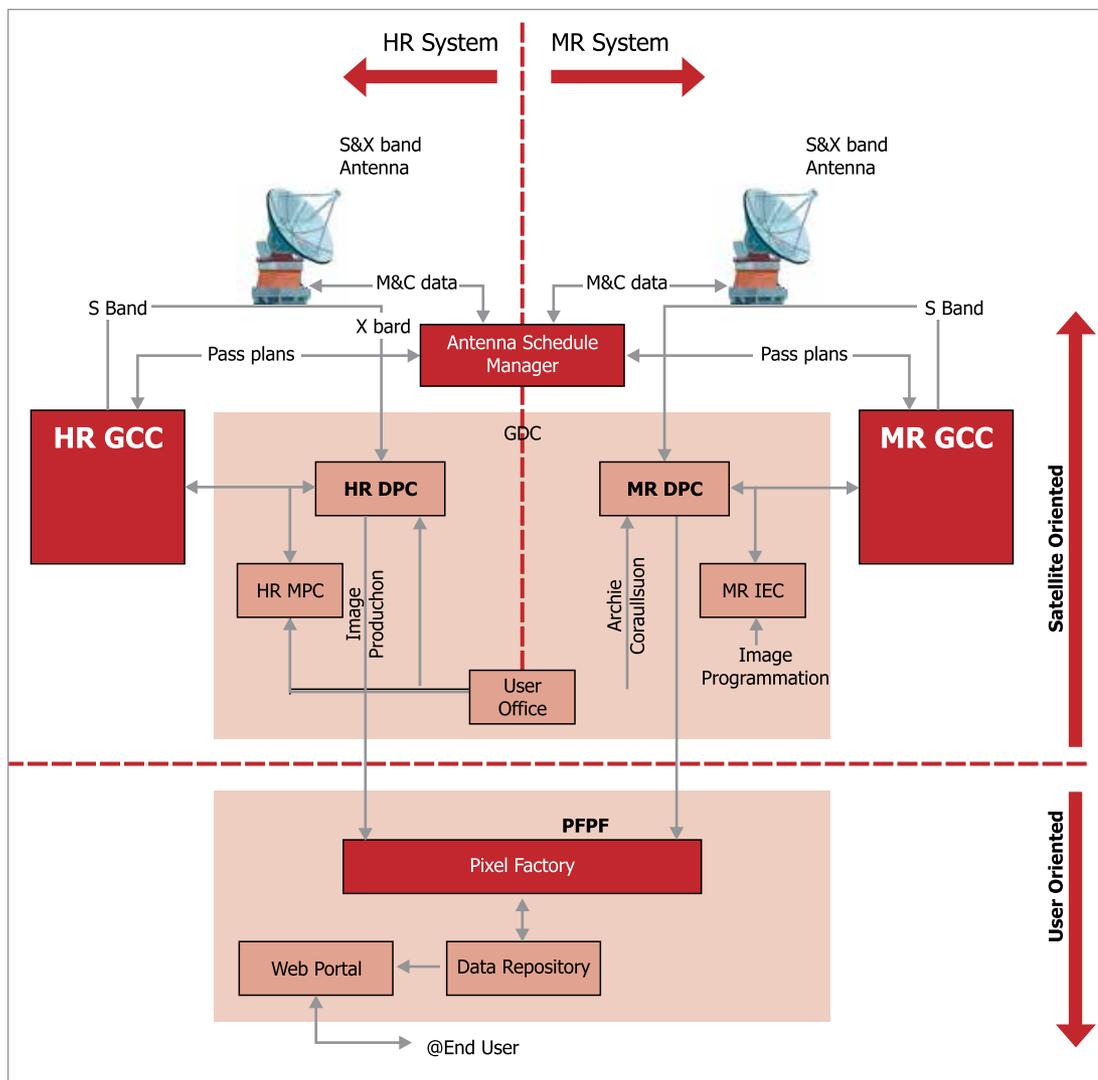


Рисунок 1 — Архитектура построения КС ДЗЗ РК
 HR, MR system — КС ВР и СР;
 GDC — наземный целевой комплекс;
 HR GCC, MR GCC — наземные комплексы управления КА ВР и СР; PFPF — Pixel Factory Processing Facility;
 End User — офис пользователя.

Данная статья посвящена описанию технических характеристик космической системы и параметров космических аппаратов.

В октябре 2009 года был подписан контракт между EADS Astrium SAS и КГС на создание КС ДЗЗ. Согласно достигнутой договоренности Astrium SAS является генеральным подрядчиком на создание космической системы ДЗЗ. В рамках данного контракта также осуществляется создание наземного сегмента по управлению КА, приему, обработке и распространению космических снимков и реализуется программа обучения. Целью программы подготовки

является трансферт современных технологий по проектированию как КА, включая оптическую полезную нагрузку, так и наземного сегмента, а также программа подготовки эксплуатационного персонала данных систем.

Описание космической системы ДЗЗ РК

Космическая система ДЗЗ РК состоит из двух систем – высокого и среднего разрешения. Каждая система состоит из космического и наземного сегментов. Космические сегменты состоят, соответственно, из КА ВР и КА СР. Наземные сегменты КС ВР и КС СР содержат земные станции (антенные ком-

плексы), наземные комплексы управления и наземные целевые комплексы (Рисунок 1). Также наземный сегмент КС ДЗЗ РК содержит комплекс управления земными станциями, офис пользователя и комплекс высокоуровневой (выше уровня 2А) обработки снимков «Pixel Factory Processing Facility», которые являются общими для наземных сегментов КС высокого и среднего разрешения.

Для обеспечения повышенного уровня надежности наземного сегмента также реализуется перекрестное резервирование земных станций КС ВР и СР — обе земные станции могут использоваться с обеими наземными сегментами.

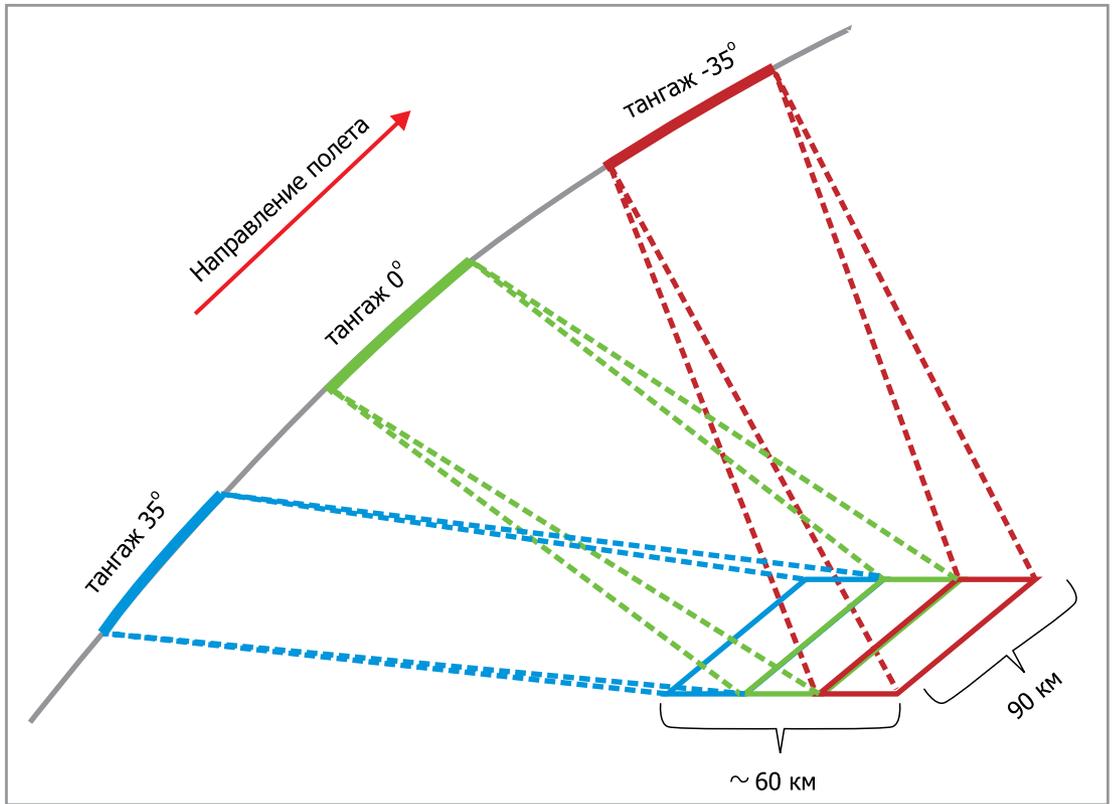


Рисунок 2 —
Режим площадной
(мозаичной)
съемки КА ВР

Параметр	Значение
Срок активного существования (САС), лет	7
Размер, мм	2050*2050*3600
Масса, кг	830
Максимальная вырабатываемая мощность, Вт	1200
Орбита, км	759(ССО), 10:30–11:00 (LTDN)
Цикл орбиты	17 дней
Число витков за сутки	14+7/17
Спектральные каналы	ПАН +4 МСС (синий, зеленый, красный, БИК — ближний инфракрасный)
Полоса захвата, км	20
Суточная производительность, км ²	220 000
Скорость радиолинии X-диапазона, Mbit/s	270
Точность привязки, м	32

КА ВР имеет солнечную ориентацию на дневной части орбиты для увеличения эффективности использования площади панелей солнечных батарей; во время сеансов съемки

и радиоконтактов с наземным сегментом ориентация КА геоцентрическая. Максимальное время работы на витке съемочной аппаратуры — 10 мин, среднее — около 3 мин, аппарат

может проводить маршрутную съемку протяженностью до 2000 км, 3-х полосную площадную шириной до 60 км, протяженностью 90 км (Рисунок 2), а также стерео съемку.

Электроника полезной нагрузки КА ВР, также как и технология конструкции телескопа (NAOMI 310) имеет длительную летную историю. В отличие от предыдущих миссий, для КА ВР разработан и создан телескоп Корша с параметрами, обеспечивающими выполнение требований Заказчика. Одним из основных требований технической спецификации было выполнение условия на функцию передачи модуляции (далее — ФПМ) всего оптико — электронного тракта и отношения сигнала к шуму (далее — ОСШ) $ФПМ \cdot ОСШ > 2.8$ (в конце срока активного существования КА), являющихся рейтингом качества изображения при съемке в условиях, близких их к требованиям ОСТ ВЗ — 3599 — 77. Для выполнения этого тре-

	Поперек трассы	Вдоль трассы
Оптическая ФПМ	0.332	0.338
ПМ аберраций	0.847	0.821
ПМ дискретизации	0.724	0.617
ФПМ смаза	1.0	0.994
Динамическая ФПМ	0.959	0.941
Итого	0.195	0.160
Среднее значение	0.177	

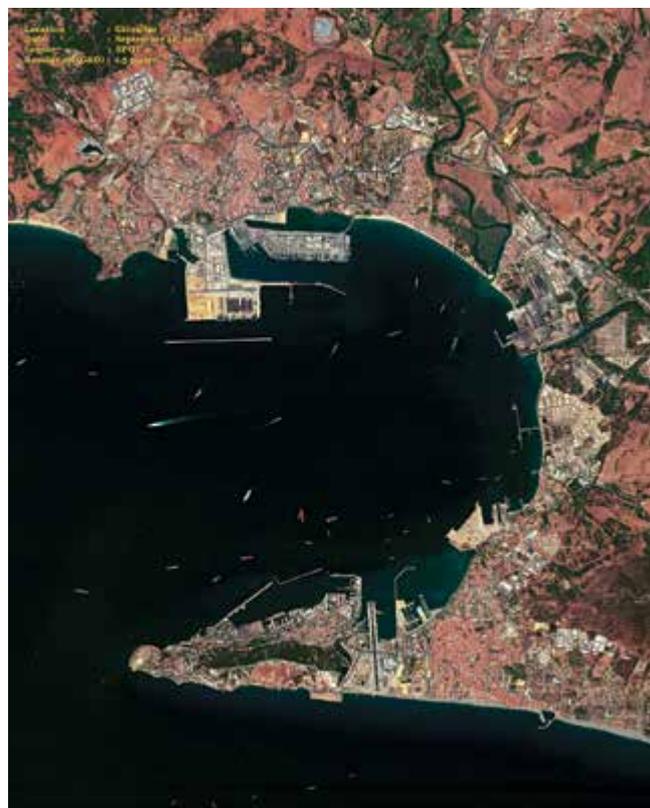
бования был увеличен диаметр главного зеркала с 20 до 65 см и использовано 8 шагов с временной задержкой и накоплением сигнала (далее — ВЗН). Ниже приводится бюджет ФПМ ПН КР.

Данное значение ФПМ является лучшим в мире среди существующих КА ВР, большинство систем имеет ФПМ между 10 и 15%. Например, полное значение ФПМ у телескопа, используемого на КА «Плеяда», составляет около 13% [2]. Отметим, что значение ФПМ, большее 20% может привести к нежелательным явлениям, называемым «алиазингом», приводящим к появлению артефактов на снимках. Таким образом, достигнутое на КА ВР значение можно считать в некотором смысле близким к оптимальному.

Бюджет дифференциального ОСШ вычислен для 8 шагов ВЗН при интенсивности сигнала от шпал 24.9 Вт/м²/стер/мкм (шпалы имеют ширину 1м, длину 4м, располагаются на расстоянии 1м друг от друга), а от фона подстилающей поверхности 18.5 Вт/м²/стер/мкм. Такие величины принятого излучения примерно соответствуют условиям ОСТ ВЗ — 3599 — 77: углу Солнца 30 градусов над горизонтом, альbedo объекта 0.13, альbedo фона, на котором расположен объект, — 0.07. Дифференциальное ОСШ к концу САС оценивается равным 15.85.

Таким образом, требования к рейтингу качества изображения системой удовлетворяются.

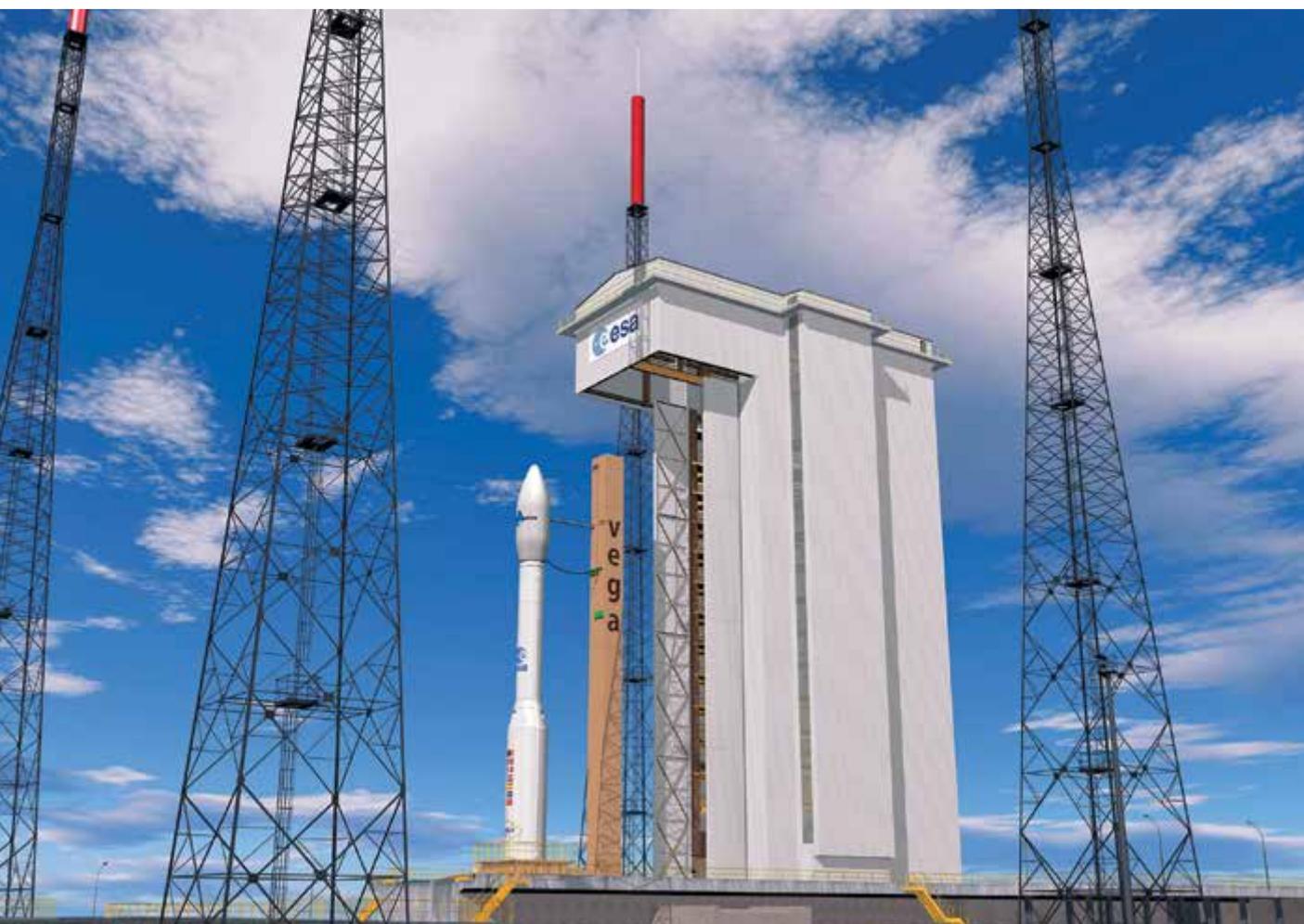
Основные параметры телескопа приведены в таблице 1.



Для получения изображения при панхроматической съемке используются 3 линейки детекторов по 7000 пикселей и 4 линейки по 1750 пикселей для получения изображения в мультиспектральных диапазонах. Разрядность квантования составляет 12 бит на пиксель.

Параметр	Значение				
Высота орбиты	759 км, солнечно – синхронная (ССО)				
Режимы съемки	Маршрутный, стерео, площадная				
Спектральные каналы	1 (ПАН) + 4 (МСС): К1, К2, К3, К4				
Разрешение в надир	В ПАН — 1 м, МСС — 4 м				
Фокусное расстояние	9.108 м				
Диаметр апертуры (главного зеркала)	650 мм — $f/D = 14$				
Антиблужинг	Есть		Есть		
Спектральные каналы и уровень излучения					
	ПАН	К1	К2	К3	К4
Центральная длина волны (нм)	600	485	560	665	825
Ширина канала (нм)	300	70	60	70	130
масса	150 кг				

Таблица 1.
Технические параметры КА ВР



При изготовлении телескопа Корша в качестве материала используется карбид кремния (SiC), обеспечивающий высокую прочность и термостабильность конструкции.

Архитектура платформы КА СР во многом аналогична платформе КА RapidEye, также как и высота солнечно — синхронной орбиты. Основные отличия заключаются

в повышенной маневренности КА, позволяющей проводить стерео- и площадную съемку поверхности Земли протяженностью 90 км при угле тангажа до 30° (возможна съемка с тангажом до 35°, тогда протяженность составляет более 100 км).

Технические характеристики КА приведены ниже в таблице 2.

Наземный сегмент космической системы ДЗЗ, расположенный в г. Астана, состоит из наземного комплекса управления и комплекса приема целевой информации для КС ВР и КС СР (рисунок 1). Управление аппаратами, а также получение целевой информации осуществляется независимо друг от друга через собственные антенные комплексы, работающие в S и X диапазонах.

Таблица 2.
Технические
параметры КА СР

Параметр	Значение
САС, лет	7
Масса, кг	185
Средневитковая мощность, Вт	65
Размер, мм	700x800x900
Орбита, км	630 (ССО), 10:30 (LTAN)
Разрешение	6.5 м
Спектральные каналы (идентичный каналам RapidEye)	5 (синий, зеленый, красный, узкий БИК)
Полоса захвата, км	77
Суточная производительность, км ²	1,000,000
Скорость радиолинии X-диапазона, Mbit/s	160

Полетное задание формируется по запросам пользователей, которые принимаются офисом пользователей.

Наземный целевой комплекс проводит прием «сырой» информации (уровень L0). В дальнейшем проводится обработка до уровня L1A. При этом производится радиометрическая коррекция (выравнивание изображения, определение и восстановление потерянных данных) и деконволюция (подавление шумов и повышение четкости изображения).

Дальнейшая высокоуровневая обработка целевой информации как с КС высокого, так и КС среднего разрешения производится комплексом Pixel Factory Processing Facility.

Важным аспектом реализации проекта создания КС ДЗЗ РК является передача современных технологий проектирования, сборки и испытания КА, проектирование наземной инфраструктуры космической системы ДЗЗ, а также получение навыков управления КА ДЗЗ.

В рамках программы конструкторская группа КГС прошла академическую подготовку в Astrium и практическую подготовку по получению навыков проектирования КА ДЗЗ и наземного сегмента в SSTL, навыки по проведению сборки и испытанию КА на примере КА СР ДЗЗ.

Запуск КА ВР будет произведен в 2014 г ракетоносителем



«Вега» с космодрома Куру, Французская Гвиана. Запуск КА СР запланирован на второе полугодие 2013г на ракетоносителе «Днепр» с космодрома Байконур. Трансферт полученных технологий при проектировании и создании КС ДЗЗ РК позволит казахстанским специалистам в будущем самостоя-

тельно создавать космические системы, а также увеличить казахстанское содержание в целом при создании всех космических систем Республики Казахстан.

Авторы выражают благодарность Жерару Каррину (EADS Astrium) за полезные замечания. ■

Литература:

1. Н.Н. Севостьянов, В.Н. Бранец, В.А. Панченко, Н.В. Казинский, Т.В. Кондранин, С.С. Негодяев. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли, Труды МФТИ. Т. 1, №3, стр. 14 -22, 2009г.
2. Catherin Gaudin-Delrieu, Jean-Luc Lamard, Philippe Cheroutre, Bruno Bailly, Pierre Dhucq, Oliver Puig. The High resolution optical instrument for the Pleiades HR Earth observation satellites. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2004ESASP.554..149L>
3. MRES: A Medium Resolution Mapping Satellite System for the Republic of Kazakhstan. Murzakulov G.T. Ten V., Nurguzhin M.R., Murushkin S.A, Albazarov B, Taylor M, Praine I, da Silva Curiel A, Carrin G, Laffaye G, Pages C. 9th IAA Symposium, Berlin, April 2011

Развитие новых технологий для использования ресурсов Луны и Марса



Галина КСАНДОПУЛО

Институт материаловедения, физико-химических процессов, нанотехнологий и микросистем
Греция
e-mail: gxantho@ims.demokritos.gr

Целью этой статьи является обзор развития технологий, важных для будущего освоения космоса человеком, обзор работ, которые ведутся в рамках программы «Использование Ресурсов Луны и Марса». Подход в этой программе сосредоточился на технологиях, необходимых для извлечения продуктов из реголита (так называют почву Марса и Луны) для системы жизнеобеспечения космонавтов, на развитии технологий изготовления материалов и структур среды обитания. Различные подходы, для создания постоянной базы на Луне и для исследования Марса рассматривают главные космические агентства и строительные компании США, Европы, России, Китая и Японии.

1. Планы космических агентств по исследованию планет Солнечной системы США

Президент Барак Обама в речи по Исследованию космоса в 21-ом столетии в Космическом центре Кеннеди 15 апреля 2010 года (<http://www.nasa.gov>) сказал: «Мы начнем с полета космонавта к астероиду, к середине 2030-ых, я полагаю, мы можем послать людей на орбиту Марса и благополучно вернуть их на Землю. Следующим будет приземление на Марсе». Недавно, 7 ноября 2012, была опубликована новая информация о планах США на Луну (<http://www.space.com/18380-nasa-moon-missions-obama-election.html>) о том, что Космическое агентство США

рассматривает возможности строительства базы на отдаленной от нас стороне Луны для установления промежуточной базы для запланированного посещения астероида в 2025.

Европа

Европейское космическое агентство запланировало приземление на Лунную поверхность в 2018 году. «Стратегический План 2020» информирует о развитии стратегии для пилотируемых космических полетов и исследований в 2009 — 2020 годах. Развитие лунной системы приземления, которая позволит автономное исследование Луны Европой и участие в международных пилотируемых лунных миссиях к 2020 году.

План по программе «Возвращение образца Марсианского реголита» (по которой впервые марсианский грунт будет доставлен на землю). Функция со-руководителя совместно с НАСА состоит в осуществлении программы (MarcoPolo). Программа назначена на 2020-2022 (http://www.esa.int/SPECIALS/Space_Exploration_Strategy/SEMBKB0YUFF_0.html, 7January, 2013).

Россия

Глава Федерального космического агентства Владимир Поповкин на Международной конференции по освоению космического пространства в Вашингтоне 22 мая 2012 года сказал, что Россия будет стро-

ить обитаемую лунную базу (http://www.larouchepub.com/other/2012/3922russia_lunar.html June 2012). По плану в 2030 году первые российские космонавты будут на Луне в 2015 году. На Луну будут отправлены Луна-Глоб — орбитальный зонд и в 2017 «Луна-Ресурс» — российская автоматическая межпланетная станция с посадочным аппаратом, который доставит в район южного полюса Луны индийский луноход.

Китай

По словам главы Китайского национального космического управления Сунь Лайян, Китай планирует сбор образцов марсианского грунта к 2030 (http://www.huffingtonpost.com/2012/10/13/china-mars-exploration-plans-samples-earth-2030_n_1955094.html). Уже в этом году китайский луноход «Чанъэ-3» должен начать исследование поверхности Луны. Луноход должен вернуться обратно на Землю вместе с образцами. В 2017 году на поверхность Луны прилетит луноход «Чанъэ-5», который доставит на землю образцы грунта с глубины 2 метра. (<http://www.laboratoryequipment.com/news/2012/10/china-plans-2013-mars-exploration-moon-landing>). Китай планирует запуск человека на Луну в 2025, а в долгосрочной перспективе планируется создание постоянно действующей базы на Луне. Китай также разрабатывает космическую программу колонизации Марса, первые беспилотные полеты запланированы на 2014 — 2033, пилотируемые на 2040-2060 («Astronauts share their experiences»). People Daily. 2007-05-22. Retrieved May 22, 2007).

Япония

Воодушевленное успехом успешного завершения полета зонда Hayabusa к астероиду Итокава (Капсула с образцами



астероидного вещества приземлилась в 13.06.2010) <http://www.aquaexpert.ru/news/2010/06/14/asteroid/> 14.06.2010), Космическое агентство Японии объявило о планах отправки человекоподобных роботов на Луну в 2015 и строительство лунной базы в 2020 для дальнейшего ее использования космонавтами (<http://www.nasaspacesflight.com/2012/02/jaxa-builds-past-future-exploration-success/> February 9, 2012).

Таким образом, все лидирующие космические державы планируют строительство базы на Луне, а в дальнейшем также колонизацию Марса. В связи с этим наблюдается стремительное возрастание работ, связанных с выполнением этих задач.

2. Использование ресурсов Луны и Марса

Строительство базы на Луне предполагает создание комплексных структур для жизнеобеспечения космонавтов (жилье,

воздух, вода), энергетическое снабжение (включая топливные элементы, ядерные и солнечные), обслуживание (высокотехнологичная робототехника), транспортная система (включая топливо, средства передвижения), межпланетная коммуникация, навигация, и сообщение, системы для приземления. Использование ресурсов Луны, а в будущем и Марса позволит реально приблизить осуществление многих задач, снижая до минимума количество материалов, привозимых с Земли. Целью программы «Использования ресурсов Луны и Марса» состоит в том, чтобы разработать :

- технологии добычи и обработки реголита;
- материалы и процессы для того, чтобы изготовить строительные элементы (плитки, кирпичи);
- процессы для изготовления солнечных отражателей;
- процессы для изготовления топлив;



- технологии извлечения кислорода, воды и т.д. из реголита.

3. Реголит

Лунная поверхность покрыта слоем реголита. Он включает пыль, почву, разрушенную породу, и другие материалы. Реголит — в общем от 4 до 5 метров толщиной в низинах и от 10 до 15 метров в горных областях. Приблизительнополовиналуннойпочвы— меньше чем 60 — 80 микронов в размере. Состав лунного реголита изменяется от места до места и, возможно, от образца к образцу. Состав реголита обсужден подробно в книге McKay, D., et al. (McKay, D., et al., «The Lunar Regolith,» Chapter 7, Lunar

Sourcebook, Heiken, G., Vaniman, D., and French, B., eds., pp. 285-356, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.). Усредненный элементный состав лунного реголита: кислород 40%, кремний 20%, железо 12%, кальций 8.5%, алюминий 7.3%, магний 4.8%, титан 4.5%, натрий 0.33%, хром 0.2%, марганец 0.16%, калий 0.11%, сера 540 ppm, углерод 200 ppm, азот 100, ppm, водород 40 ppm, гелий 4 28 ppm, гелий 3 0.01 ppm.

Основные лунные минералы — это полевой шпат: анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, К-полевой шпат KAlSi_3O_8 ; Шпинели: ильменит FeTiO_3 , хромит FeCr_2O_4 ; пироксены: диопсид $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$, геденбергит $\text{FeCaSi}_2\text{O}_6$, энстатит

$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$, ферросилит $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$; волластонит CaSiO_3 ; оливины: форстерит Mg_2SiO_4 , фаялит Fe_2SiO_4 . Марс покрыт обширными пространствами песка и пыли, камнями и валунами. Приблизительный химический состав марсианского реголита: SiO_2 44%, Fe_2O_3 16.5%, CaO 5.6%, TiO_2 1.1%, Al_2O_3 7.5% MgO 7.0%, Na_2O 2.1%, K_2O 0.3%, SO_3 4.9%, Cl 0.5%.

4. Традиционные технологии обработки лунного и марсианского реголитов

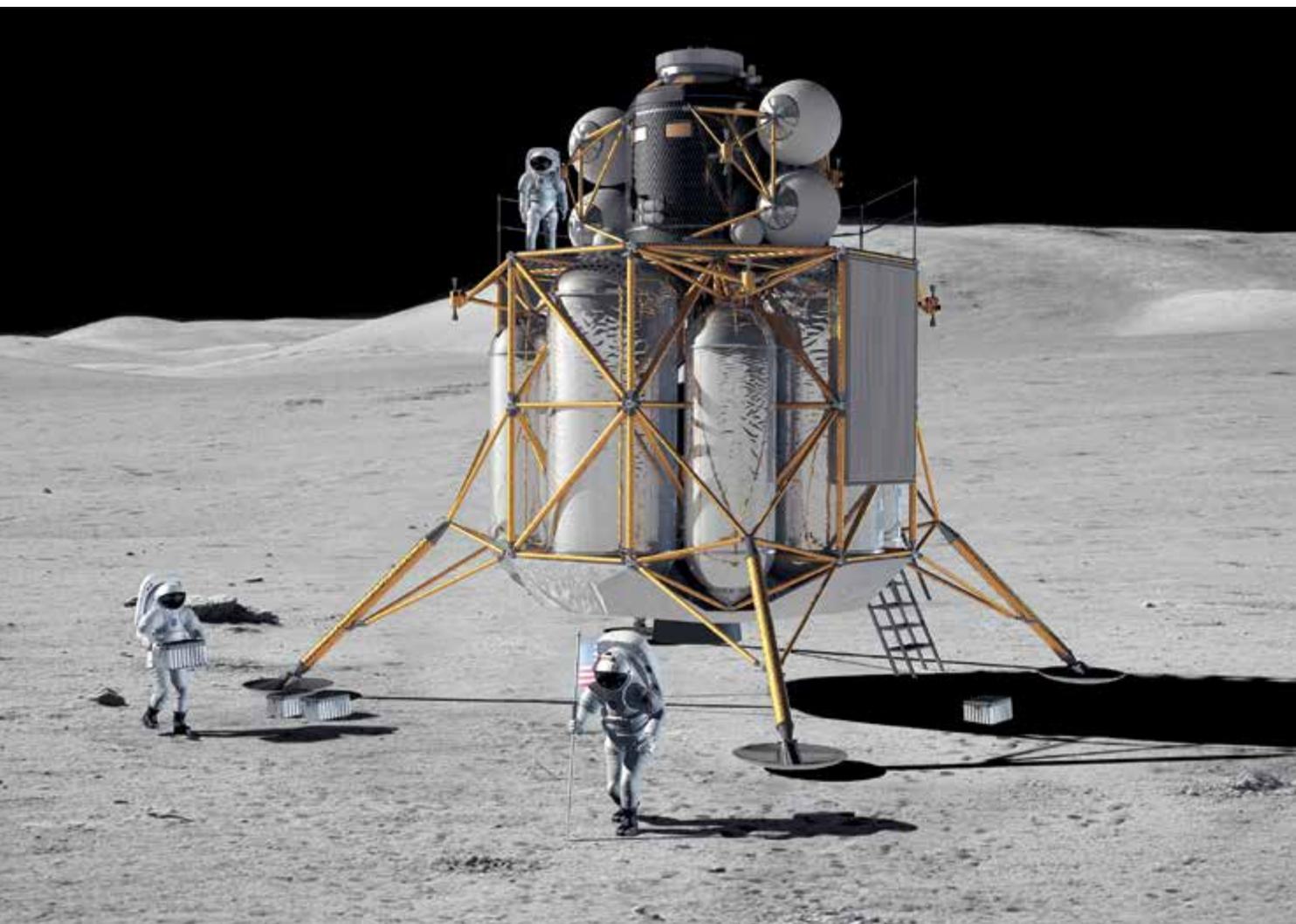
Минералы реголита могут быть использованы для производства различных материалов, например, анортит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) — может быть источником для производства металлов и оксидов Al, Ca, Si, O, ильменит (FeTiO_3) — источник для производства металлов и оксидов Ti, Fe и т.д. Некоторые традиционные технологии были приспособлены для Лунного реголита.

Волокнистые и литые базальтовые изделия

Например, было предложено использовать лунный реголит как строительный материал, обрабатывая его путем спекания, горячего прессования, формования расплава. Базальтовое волокно и материалы на его основе используются для тепло- и огнезащиты, могут иметь высокую прочность изделий, что важно для Луны.

Стекло и стеклянное волокно

Стекло и стеклянное волокно возможно получать на Луне и Марсе лучшего качества, чем на земле. (Toutanji, H. et al., Use of Lunar regolith for obtaining a thermo-plastic material, 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit — Meeting Papers (2005) and Tucker, D. et al., Fiberglass for reinforcing Lunar concrete 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting 9, 2006).



Цемент

Установлено, что реголит, который содержит кальций-силикаты, может использоваться для изготовления цемента в условиях Марса и Луны.

(Lunar and Martian Resources Utilization: Cement Space and Robotics 1998, Edited by Rodney G. Galloway, Stanley Lokaj, pp. 592-600).

Кислород

Более двадцати различных методов были предложены для получения кислорода на Луне. Кислород может быть извлечен, нагревая минерал при температуре выше 900°C в водородной атмосфере. Например: $\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$. Этот процесс вполне осуществим,

поскольку водород может быть получен из воды недавно открытой на Луне. (L.A., and Carrier, W.D., «Oxygen Production on the Moon: An Overview and Evaluation,» Resources of Near Earth Space, pp. 69-108, J.S. Lewis, M.S. Matthews, and M.L. Guerrieri, eds., U. Arizona Press, Tucson AZ, 1993).

Вода

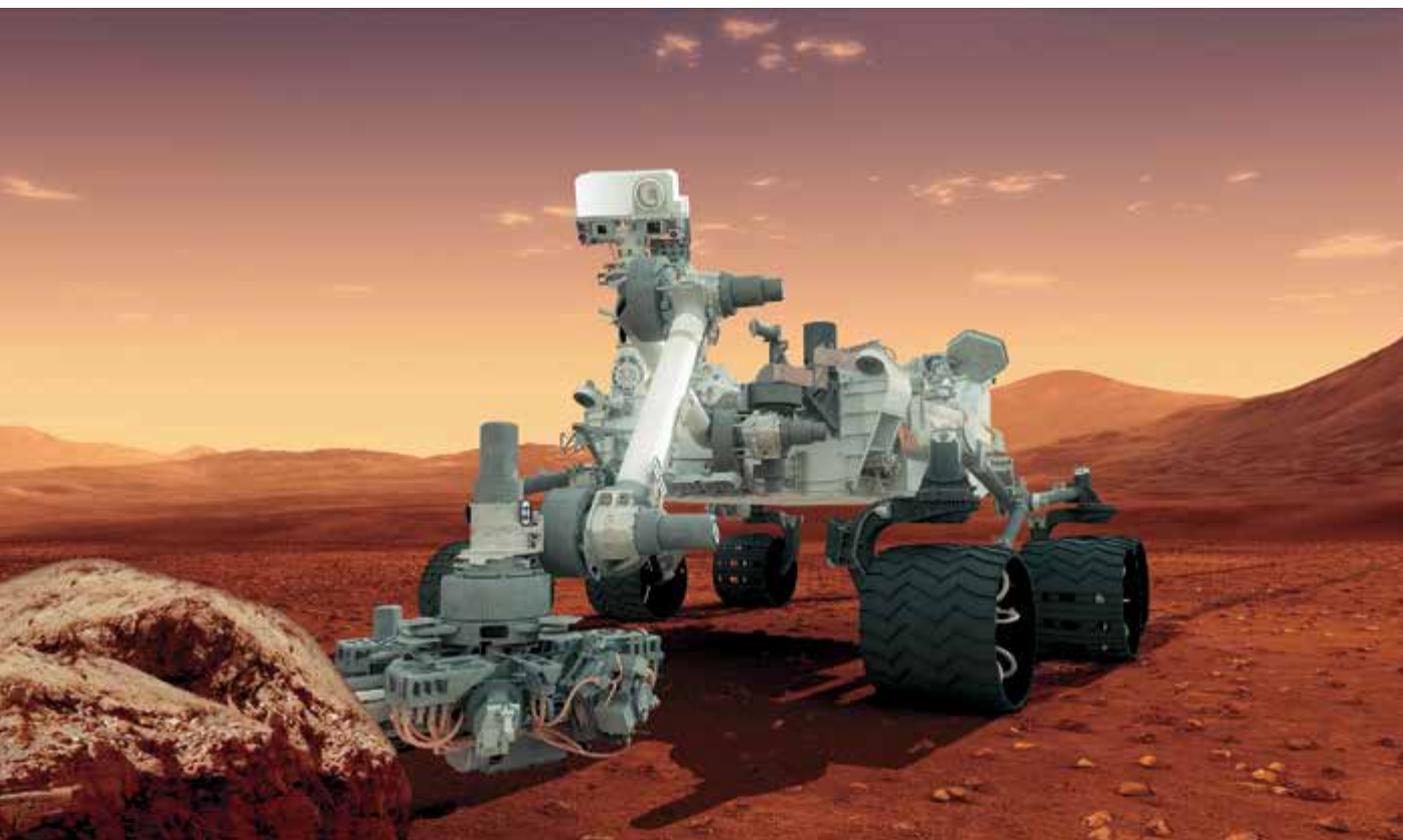
Вода, полученная растоплением лунного льда, необходима для гигиены и жизни, но может также использоваться для противолучевой защиты в открытом космосе (жилые помещения, окруженные двойной цилиндрической стеной заполненной водой).

Топливо

Разложение воды позволит получить водород для ракетных топлив. Установка для этого процесса $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ разработана для условий Луны и Марса (НАСА Космический центр Кеннеди). Наибольшую трудность представляет работа в условиях низких температур и складирование, поскольку криогенные установки сложны и энергоёмки.

Кремний

Кремний не может быть изготовлен по технологиям, используемым на Земле, поскольку в них используется кварцевый песок с высоким содержанием кремния, в то время как лунный реголит —



прежде всего силикаты, типа анортозитов. Кроме того, при производстве необходимо большое количество углерода, не доступного на Луне (но присутствующий на Марсе в виде CO_2), но углерод можно заменить на фтор, который замещает кислород с образованием фторида кремния SiF_4 , затем, разложением в плазме получают кремний, а фтор используется снова. (Landis, G., «Lunar Production of Space Photovoltaic Arrays,» Proceedings of the 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas, NV; 874-879, 1988). Преимуществом этого нового метода является применимость для сырья с любым содержанием кремния и производство ценных побочных чистых продуктов- O_2 , Al, Ti, Fe, MgO, CaO (Seboldt, W., Lingner, S., Hoernes, S., Grimmeisen, W., Lekies, R., Herkelmann, R., and Burt, D., «Lunar Oxygen Extraction

Using Fluorine,» Resources of Near Earth Space, pp. 129-148, J.S. Lewis, M.S. Matthews, and M.L. Guerrieri, eds., U. Arizona Press, Tucson AZ, 1993).

Материалы и процессы для изготовления строительных элементов

Лунный анортит подобен земному бокситу, который является алюминиевой рудой и из него можно получить чистый алюминий, кальций, кислород, стекло и керамику. В работах (Allen C. C. (1998) LPI Tech. Rep. 98-01, 1-2. Taylor L. A. and Meek T. T. (2005) J. Aerospace Eng. 18, 3, 188-196.) предложен метод получения строительных материалов из лунного реголита путем спекания в микроволновой печи при 1500°C в течении 2 часов, при этом получают прочные, без трещин, кирпичи. Недостатком этого метода являются высокие затраты и использование сложного оборудования.

5. Развитие новых технологий для использования ресурсов Луны и Марса

СВС

СВС был успешно применен к синтезу множества материалов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) метод развивается во всем мире для дешевого производства неорганических материалов (порошки тугоплавких соединений, абразивные пасты, азотированные ферросплавы, керметы, керамика), деталей и изделий заданных размеров и форм, огнеупорных изделий и покрытий, а также осуществление соединения деталей и их резки. Достоинство технологии СВС заложено в самом принципе — использование быстрого выделяющегося тепла химических реакций вместо нагрева вещества от внешнего источника, поэтому СВС процессы успешно конкурируют с традиционными энергоемкими технологиями. Температуры,

развивающиеся в процессе СВС, могут достигать 3500°C за счет реакции и именно поэтому СВС метод чрезвычайно перспективен для его производства материалов на Луне и Марсе.

СВС, гравитационный эффект

Влияние гравитационного эффекта на СВС процесс исследовалось впервые А.Штейнбергом с сотрудниками из ИСМАНа (СВС система Ti+C) в России и О.Одавара в Японии (СВС системы Ti-Al-B, Zr-Al-Fe₂O₃, Ga-P, In-P, Ga-In-P) в 1990 в параболических полетах. В дальнейшем подобные исследования проводили ученые многих стран: Д. Мур (США, 1992) — система B₂O₃-C-Al, Д.Ли (Канада, 1993) система Zn-S, С.Ланц (США, 1995) система Ti-C, А.Варма (США, 1997) системы Ni-Al, Ni-Al-Ti-B, Ti-C-Ni-Mo, Ti-C-Ni. С 1997 Российские ученые из ИСМАНа (А.Мержанов с сотрудниками) проводят систематические исследования различных СВС систем (Ti-C, Ti-C-Ni, Ni-Al, Ti-Si-C, NiO-Ni-Al, Ti-C-Ni-Al and etc.) в этом направлении на космической станции МИР (Фото 1). Установлено, что эффект гравитации влияет на следующие процессы втечении СВС: формирование евтектических расплавов, газификацию, плавление реагентов, промежуточных и конечных продуктов, распределение жидких фаз и их разделение в продукте, кристаллизацию расплава после охлаждения.

Многогранность технологии СВС для обработки ресурсов Луны и Марса на месте была подчеркнута в обзоре (Moore, H.C. Yi, J.Y. Guigne, The application of self-propagating high temperature (combustion) synthesis (SHS) for in situ fabrication and repair (ISFR), and in situ resource utilization

(ISRU), Int. J. Self-Propag. High Temp. Synth. 14 2005, pp. 131–149.), например, для изготовления структурных компонентов, стерилизации материалов, привезенных с Марса. Space Drams — это звуковой химический реактор для получения сверхчистых материалов в космосе и проведения экспериментов, включая СВС. Этот реактор, установленный на МКС, является плодом совместных усилий канадского ученого Жака Гижне (Jacques Guigne) и специалистов НАСА (Фото 2) J.Y.Guigne, Containerless combustion synthesis processing in microgravity leading to product fabrication and resource utilization on ISS, SHS 2011, Anavissos, Greece, p.168).

СВС на основе лунного реголита

База для исследований на Луне должна быть надежной для космонавтов, защищать от космических лучей. Среди различных предложений по обеспечению такой защиты и уменьшению чрезвычайно дорогой перевозки материалов с Земли является использование лунного реголита для изготовления структурных блоков. Необходима простая технология, для производства прочных блоков в условиях вакуума на Луне. СВС — подходящий метод для решения такой задачи. Конечно, для осуществления



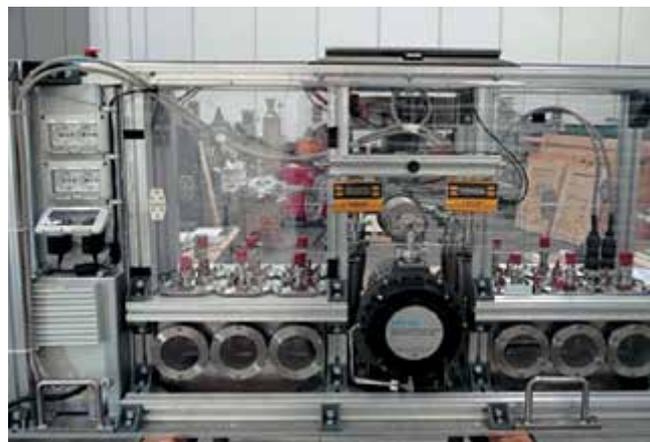
СВС реголита нужен порошкообразный алюминий, который можно получить из многочисленных ненужных аппаратов, находящихся на Луне в результате всего периода исследований ее поверхности. Из реголита методом СВС могут быть получены не только плиты, кирпичи, но и плоские твердые покрытия на лунной поверхности для приземления, для фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов), прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. В процессе СВС смесь состоит из окислителя (реголит состоит из оксидных минералов) и восстановителя, например, алюминия или магния. В последнее время наблюдается существенный рост таких работ в этом направлении.

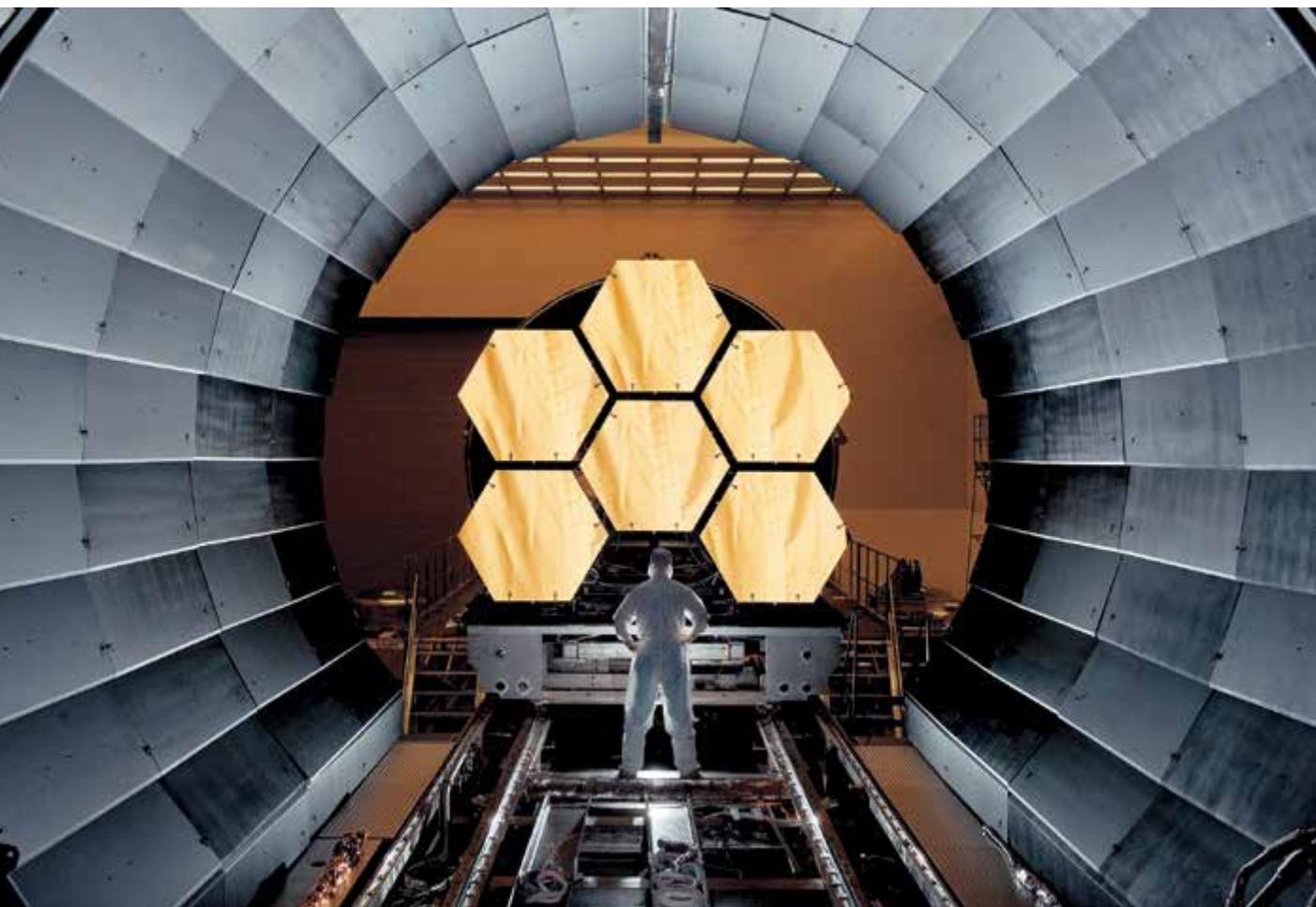
Так, К. Вайт с сотрудниками произвели термодина-

Fig. 1 Astronaut Vinogradov doing SHS experiments on МКС-13, 2006
Фото 1. Космонавт П.Виноградов проводит СВС эксперименты на МКС-13, 2006

Fig.2 Space Drams
Фото 2 Установка для проведения экспериментов в космосе

Fig. 3 Setup for ground and parabolic flight experiments
Фото 3. Установка для земных и параболических экспериментов





мический расчет адиабатной температуры и продуктов сгорания для смесей Al и Mg с лунным симулянт реголита JSC-1A и провели сравнительный анализ различных добавок к реголиту (Al, Mg, Ti/2B) (White et al., Thermodynamic calculations of the adiabatic temperature (T_{ad}) and combustion products for the mixtures of Al and Mg with JSC-1A lunar regolith stimulant) comparative analysis of different additives to regolith (Al, Mg, Ti/2B). 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2011) с целью снижения до минимума количества добавки, которая требуется для устойчивого сгорания, определения эффекта плотности смеси на особенности сгорания и свойства про-

дукта, определения эффекта вакуума и низкой гравитации.

К.Мартirosяни, Д.Ласс продемонстрировали в своей работе (K. S.Martirosyan and D. Luss., 37th Lunar and Planetary Science Conference (2006), Combustion Synthesis of Ceramic Composites from Lunar Soil Simulant, p.1896) CVC процесс для быстрого производства плотного керамического композита из симулянта лунного реголита, смешанного с Ti + 2B. Экзотермическая реакция: $Ti + 2B \rightarrow TiB_2$ приводит к среканию реголита. В работах Д.Као (G. Corrias, R. Licheri, R. Orro, A. Concas, M. Pisu, G. Cao, Optimization of the self-propagating high-temperature process for the fabrication in situ of Lunar construction materials, Chemical Engineering Journal 193–194 (2012) 410–42. используется алюминий как восста-

новитель и минералы содержащиеся в реголите: ильменит и гематит. На рисунке 3 показана установка для проведения CVC экспериментов. Полученные прочные (25.8–27.2 МПа) материалы состоят из сложной смеси различных Al-, Ti-, Mg-, и Ca-оксидов, а также металлов и интерметаллидов и могут быть использованы как конструкционные материалы на Луне и Марсе.

Е.Фаерсон с сотрудниками (Eric J.Faieron, Kathryn V.Logan, Brian K.Stewart, Michael P.Hunt., Lunar Construction exploiting a thermite reaction between Lunar Regolith simulant JSC-1AF and Al powder. Acta Astronautica 67 (2010) 38-45) определили условия горения смеси реголита с алюминием. Результаты работы показали, из полученных строительных элементов (Фото 4 а, б)

возможно строительство базы в виде полусферы на Луне.

Е.Шафрович с сотрудниками из Техасского университета в 2010 опубликовали данные по синтезу кирпичей, плиток, керамических покрытий на лунной поверхности для посадки и для фотоэлектрических преобразователей.

В наших работах (K.Arvanitis, G.Xanthopoulou, G.Vekinis, L.Zoumpoulakis, T.Katsaros, T.Ganetsos. SHS production of structural units of lunar regolith stimulant, SHS2011, Anavissos, Greece, p.283-4) мы используем иной подход — СВС с минералами, которые входят в состав реголита, а не с реголитом по той простой причине, что состав реголита на поверхности и в глубине меняется и важны данные по горению каждого минерала в режиме СВС для составления базы данных для расчета любого состава реголита. Установлено, что состав СВС продуктов на основе ильменита: $FeAl_2Ti_3O_{10}$, $\alpha-Fe$, $\alpha-SiO_2$, TiO_2 , Fe_2O_3/Al_2O_3 , плотность и прочность этих материалов находится в пределах: 2.4-3.0 г/см³ и 8-11 МПа, соответственно. Состав строительных элементов на основе хромита: $(Mg,Fe)(Al_{0.75}Cr_{0.75})O_4$, $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$, плотность и прочность этих материалов находится в пределах: 2.4-3.5 г/см³ и 10-12 МПа, соответственно. Различные материалы также были синтезированы методом СВС на основе большинства минералов, входящих в состав реголита, а

также их смесей. Эти материалы также могут быть синтезированы и использованы на Луне.

Развитие новых технологий для использования ресурсов Марса

Развитие новых технологий для Марса сосредоточено прежде всего на создании топлива для ракеты для возвращения на Землю. В основном работы ведутся по получению различных продуктов из углекислого газа (атмосфера Марса на 95 % состоит из углекислого газа с небольшими примесями азота, аргона, кислорода), например реакция Сабатье: $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$. Метан может быть использован в качестве топлива, из воды электролизом можно получить водород и использовать его для реакции, а кислород для топлива. Кислород и водород можно также получать электролизом воды, полученной по реакции: $CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$ в присутствии железохромового катализатора при 400°C. Из полученного по Сабатье реакции CH_4 и CO_2 (S,Varitis, G.Xanthopoulou, G.Romanos, G.Vekinis, K.Karanasios, Combustion synthesis catalysts for CO_2 reforming of CH_4 , XXVIII Panhellenic Conference on Solid State Physics and Materials Science, Patra, Greece, 2012), например, в присутствии СВС катализаторов можно получить синтез газ, который может быть использован для синтеза огромного числа органических продуктов.

Солнечные батареи — Лунное кольцо

Очень яркий проект «Лунное кольцо (или пояс)» по решению энергетической проблемы на Земле и Луне за счет использования ресурсов Луны предложен корпорацией Шимизу (Shimizu) (<http://www.shimz.co.jp/english/theme/dream/lunaring.html>) (Рис. 5, 6 English version). По этому проекту цемент, полученный из реголита и смешанный с реголитом, планируется использовать для создания покрытия на Луне. Для производства различных материалов на Луне нужна энергия, которая будет производиться с помощью солнечных батарей, которые будут опоясывать Луну по 11,000 км длине и от нескольких километров до 400 км ширине. Микро-волновые антенны передачи энергии будут передавать энергию на Земные приемники. Для этого проекта разработан план строительства транспортной системы, добычи и переработки материалов, производство фотоэлектрических преобразователей, подводки электрических кабелей и т.д.

Для реализации такого проекта чрезвычайно важны работы по синтезу различных материалов на основе лунного реголита. Такой долгосрочный проект может объединить усилия всех ученых, работающих для космоса, над лунным проектом, ввиду его важности для будущего нашей планеты.

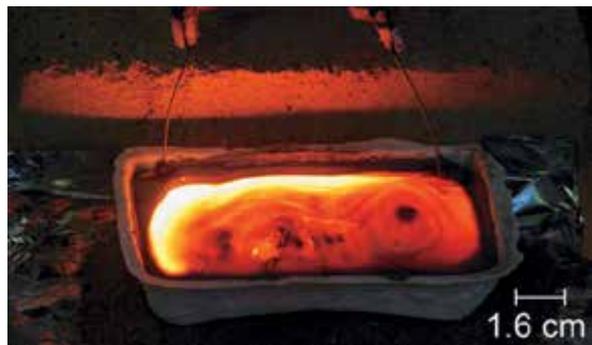


Фото 4.

- а) СВС на основе симулянта реголита JSC-1A,
 - б) Сформированный строительный элемент
- Fig.4**
- а) Geothermite reaction propagation using JSC-1A regolith stimulant
 - б) Near net shaped viscoir element

Development of new processes for in-situ resource utilization (ISRU) on Moon and Mars

Galina XANTHOPOULOU

Institute of Advanced Materials, Physicochemical Processes, Nanotechnology and Microsystems, NCSR, Demokritos, Greece

e-mail: gxantho@ims.demokritos.gr

Review of development of technologies useful for future manned space missions, in the framework of the ISRU (In-Situ Resource Utilization) concept is the aim of this article. Specifically, the approach to ISRU focused on technologies necessary to extract consumables for human life-support system replenishment, development of Fabrication Technologies, the Repair Technologies and the Habitat Structures.

Various approaches to establish permanent outposts on the Moon and Mars exploration are being considered by major space agencies and construction companies from USA, Europe, Russia, China and Japan.



1.Plans for space exploration of space agencies

USA

President Barack Obama in a speech on Space Exploration in the 21st Century at the Kennedy Space Center in April 15, 2010 (<http://www.nasa.gov>) said “Early in the next decade, a set of crewed flights will test and prove the systems required for exploration beyond low Earth orbit. And by 2025, we expect new spacecraft designed for long journeys to allow us to begin the first-ever crewed missions beyond the Moon into deep space. So we’ll start by sending astronauts to an asteroid for the first time in history. By the mid-2030s, I believe we can send humans to orbit Mars and return them safely to Earth. And a landing on Mars will follow».

There was some new information about USA plans on Moon. Recently on 7 November 2012 it

was published information (<http://www.space.com/18380-nasa-moon-missions-obama-election.html>), that «The USA space agency has apparently been thinking about setting up a manned outpost beyond the moon’s far side, both to establish a human presence in deep space and to build momentum toward a planned visit to an asteroid in 2025».

Europe

The European Space Agency is aiming for the Moon with their Lunar Lander mission, anticipated to arrive on the lunar surface in 2018. the «Strategic Plan 2020», informs the future debate concerning the development of a strategy for human spaceflight and exploration in Europe in the timeframe 2009 — 2020.(http://www.esa.int/SPECIALS/Space_Exploration_Strategy/SEMBK-B0YUFF_0.html, 7 January, 2013) Lunar Lander: Development of a lunar landing system, enabling

implementation of autonomous, automatic European lunar exploration and participation in international human lunar surface missions by 2020; Mars Sample Return: Participation as co-leader with NASA in the implementation of a Mars Sample Return programme, with the first mission being implemented in the 2020 – 2022 timeframe.

Russia

Russia will be focusing its space exploration efforts toward a permanent presence on the Moon, Federal Space Agency (Roscosmos) head Vladimir Popovkin stated on May 22, at the Global Space Exploration conference in Washington. This will not be a «replication» of the American Apollo program of the 1960s, or of the unmanned lunar exploration probes of the Soviet Union, but will entail «establishing laboratories on the surface of the Moon, which would be bases, of a certain kind, for doing lunar research.» (http://www.larouchepub.com/other/2012/3922russia_lunar.html June 2012).

According to the Russian space strategy published on the Roscosmos website, Moscow has set several way-points for its space exploration activities 2015, 2020, 2030 and the period after 2030. Roscosmos will resume lunar exploration by 2015 using an unmanned spaceship. Russia is also planning to send a manned mission to the moon by 2030, the space agency said. Russia is also planning to send two unmanned moon missions by 2020, Luna-Glob (Lunar Sphere) and Luna-Resurs in 2015.

China

China aims to land probes on Mars to collect samples by 2030, Ouyang Ziyuan, chief scientist of China's lunar orbiter project said on 10/10/2012 (http://www.huffingtonpost.com/2012/10/13/china-mars-exploration-plans-samples-earth-2030_n_1955094.html).

China has also plans on Moon exploration. Chang'e-3 satellite, which will be launched in 2013, will land on the Moon and the unmanned lunar rover will be equipped with an atomic energy battery that can keep the rover running for 30 years, according to Ouyang. «We also solved the problem of the large temperature difference on the Moon through high-end technology.» (<http://www.laboratoryequipment.com/news/2012/10/china-plans-2013-mars-exploration-moon-landing>).

The space program of the People's Republic of China include a permanent Chinese space station in 2020 and crewed expeditions to the Moon and Mars. In September 2010, it was announced that the country is planning to carry out explorations in deep space by sending a man to the Moon by 2025. Yang Liwei, China National Space Administration astronaut declared at the 16th Human in Space Symposium of International Academy of Astronautics (IAA) in Beijing, on May 22, 2007 that building a lunar base was a crucial step to realize a flight to Mars and farther planets («Astronauts share their experiences». People Daily. 2007-05-22. Retrieved May 22, 2007.) The first uncrewed Mars exploration program could take place in 2014–2033, followed by a crewed phase in 2040–2060

Japan

Japanese has an ambitious \$2.2 billion project in the works at JAXA, the Japanese space agency, to put humanoid robots on the moon by 2015, and now official backing from the Prime Minister's office says the Japanese could have an unmanned lunar base up and running by 2020. (<http://www.popsci.com/technology/article/2010-05/japan-wants-moon-base-2020-built-robots-robots05.27.2010>).



But the lunar robotic exploration missions were not the only recommendations brought forth by the study group. Human space exploration approaches were also highlighted, including the research and development of «basic technologies for human transportation systems by around 2020 — (<http://www.nasaspaceflight.com/2012/02/jaxa-builds-past-future-exploration-success/> February 9, 2012).

2. ISRU

Because permanent outposts will be established on the Moon, research must be concentrated toward following directions: the fields of habitation (including ISRU, advanced structures, life support and mobility concepts), energy management (including fuel cells, nuclear and solar),

How Lunar Solar Energy Reaches the Earth

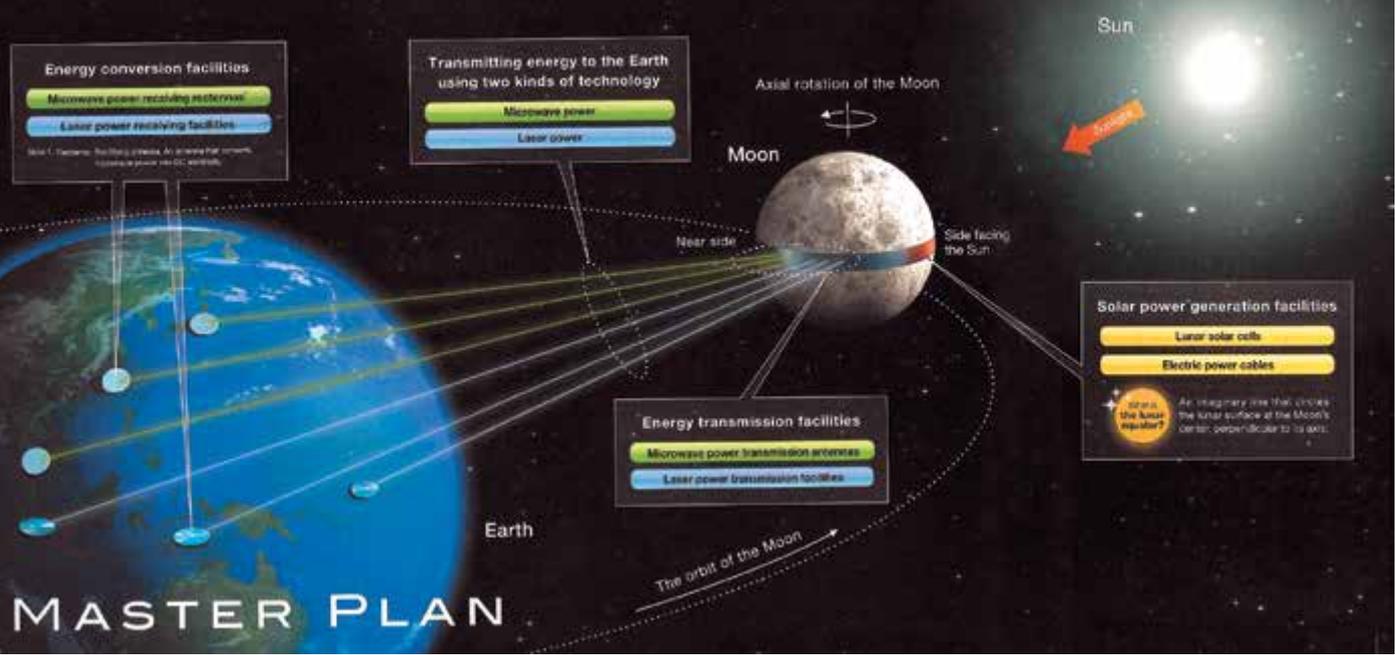


Fig.5

How Lunar Solar Energy Reaches the Earth

Фото.5

Как солнечная энергия передается на Землю

servicing (including advanced robotics, rendezvous and docking, cryo-management and refuelling), advanced interplanetary communication and navigation, and advanced propulsion (including nuclear propulsion and soft precision landing). In-situ resource utilization will enable the affordable establishment of extraterrestrial exploration and operations by minimizing the materials carried from Earth. For future it is important also to work on Mars regolith because of the same reason.

ISRU Research Objectives are:

- Develop processing technologies for Lunar regolith in-situ resource utilization
- Develop materials and processes for fabricating shaped construction elements (plates, beams, bricks) from Lunar and Martian regolith.
- Develop processes for manufacture of solar reflectors using lunar materials
- Develop processes for manufacture propellant
- Technologies to extract consumables (O₂, H₂O) for hu-

man life support replenishment and source material for ISFR

- In-situ Repair

3. Regolith

The Lunar surface is covered by a layer of unconsolidated debris called the lunar regolith. The regolith is generally from 4 to 5 meters thick in mare areas and from 10 to 15 meters in the highland regions. About half the weight of a lunar soil is less than 60 to 80 microns in size. The Lunar regolith composition varies from site to site, and possibly from sample to sample at a given site; regolith composition is discussed in detail in the Lunar Sourcebook (McKay, D., et al., «The Lunar Regolith,» Chapter 7, Lunar Sourcebook, Heiken, G., Vaniman, D., and French, B., eds., pp. 285-356, Cambridge University Press, Cambridge, 1991). Approximate composition of Lunar regolith is: Oxygen 40%, Silicon 20%, Iron 12%, Calcium 8.5%, Aluminum 7.3%, Magnesium 4.8%, Titanium 4.5%, Sodium 0.33%, Chromium 0.2%, Manganese 0.16%, Potassium

0.11%, Sulfur 540 ppm, Carbon 200 ppm, Nitrogen 100 ppm, Hydrogen 40 ppm, Helium 4 28 ppm, Helium 3 0.01 ppm. Major Lunar minerals are Feldspars: Anorthite CaAl₂Si₂O₈, Albite NaAlSi₃O₈, K-Feldspar KAlSi₃O₈; Spinel: Ilmenite (FeTiO₃), Chromite FeCr₂O₄; Pyroxenes: Diopside MgCaSi₂O₆, Hedenbergerite FeCaSi₂O₆, Enstatite Mg₂Si₂O₆, Ferrosilite Fe₂Si₂O₆; wollastonite CaSiO₃; Olivines: Forsterite Mg₂SiO₄, Fayalite Fe₂SiO₄. Approximate chemical composition of Martian regolith is: Silicon oxide 44%, Iron oxide 16.5%, Calcium oxide 5.6%, Titanium oxide 1.1%, Aluminum oxide 7.5% Magnesium oxide 7.0%, Sodium oxide 2.1%, Potassium oxide 0.3%, Sulfur oxide 4.9%, chlorine 0.5%.

4. Traditional processing technologies for Lunar and Mars regolith

Regolith minerals can be used for production different materials for example Anorthite (CaAl₂Si₂O₈) — can be source for Al, Ca, Si, O, and oxides pro-

duction, Ilmenite, (FeTiO_3) — source for Ti, Fe, and Oxides and production etc. Some traditional processing technologies were adjusted for Lunar regolith in-situ resource utilization.

Cast basalt

For example, it has been proposed to use lunar regolith as a general construction material, through processing techniques such as sintering, hot-pressing, liquification, and the cast basalt method. Cast basalt is used on Earth for construction of, for example, pipes where a high resistance to abrasion is required. Cast basalt has a very high hardness of 8 Mohs but is also susceptible to mechanical impact and thermal shock which could be a problem on the moon.

Glass and glass fiber

Glass and glass fiber are straightforward to process on the Moon and Mars. Basalt fiber has also been made from lunar regolith simulators (Toutanji, H. et al., Use of Lunar regolith for obtaining a thermo-plastic material, 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit — Meeting Papers (2005) and Tucker, D. et al., Fiberglass for reinforcing Lunar concrete 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting 9, 2006).

Cement

The constituents of inorganic materials available on the Moon and Mars are similar to those on Earth. Calcium oxide concentrations, the primary factor for the production of portland cement, of these materials are substantially less than that of companion terrestrial materials. However, cementitious materials with desirable hydraulic characteristics can be produced with raw materials having a calcium oxide content of approximately 10% by weight. Lunar and Martian soils could be used to manufacture cement under extraterrestrial conditions. (Lunar and



Martian Resources Utilization: Cement Space and Robotics 1998, Edited by Rodney G. Galloway, Stanley Lokaj pp. 592-600).

Oxygen

Over twenty different methods have been proposed for oxygen extraction on the moon. Oxygen is often found in iron rich lunar minerals and glasses as iron oxide. The oxygen can be extracted by heating the material to temperatures above 900°C and exposing it to hydrogen gas. The basic equation is: $\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$. This process has recently been made much more practical by the discovery of significant amounts of water near the moon's poles by the Clementine spacecraft. (L.A., and Carrier, W.D., «Oxygen Production on the Moon: An Overview and Evaluation», Resources of Near Earth Space, pp. 69-108, J.S. Lewis, M.S. Matthews, and M.L. Guerrieri, eds., U. Arizona Press, Tucson AZ, 1993).

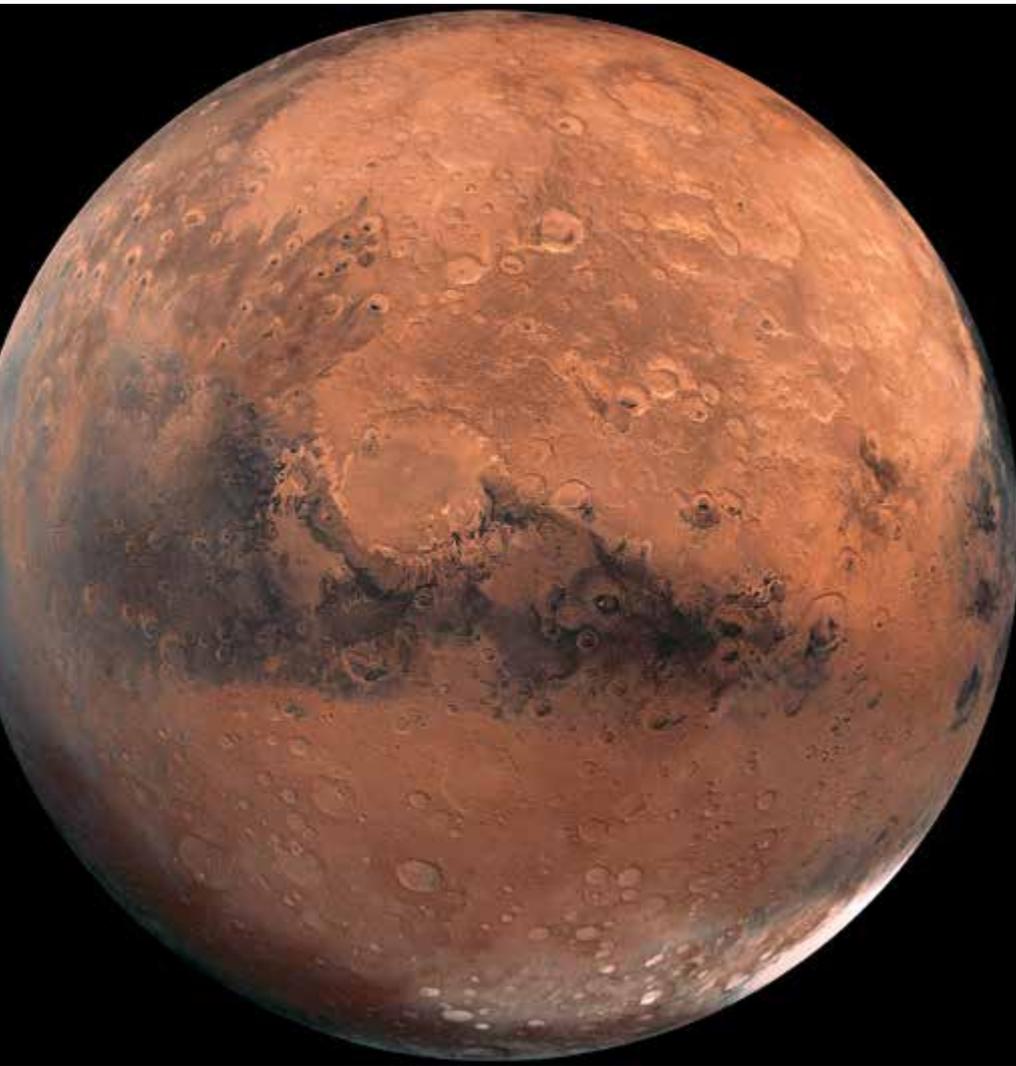
Propellant

Developed processes for manufacture propellant by reac-

tion $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ISRU Reverse Water Gas Shift reaction Testbed installation was built for extraterrestrial conditions (NASA Kennedy Space center). Rocket propellant from water ice has also been proposed for the moon. The likely difficulties include working at extremely low temperatures. Most schemes electrolyze the water and form hydrogen and oxygen, liquify and cryogenically store them, which requires large amounts of equipment and power to achieve.

Silicon

Silicon cannot be manufactured by the industrial processes used on Earth, of course, if for no other reason than silicon production on Earth uses as raw material high-silica sand, while lunar regolith is primarily igneous silicates such as anorthosites. Also, production of one mole of silicon on Earth uses one mole of carbon in the form of coal, not available on the moon. Any production process for the moon must use no reactants that cannot be completely recycled. Lu-



nar regolith consists of a mixture of primarily iron, calcium, aluminum, and magnesium silicates. The basic silicon reduction process is to heat the regolith in the presence of fluorine. The fluorine will displace the oxygen, which is collected as a useful by-product. Silicon is produced in the form of fluorosilane (silicon tetrafluoride). The silicon is recovered from the fluorosilane by plasma decomposition. The metal fluorides («fluorine salts») are then reduced with potassium to recycle the fluorine. (Landis, G., «Lunar Production of Space Photovoltaic Arrays,» Proceedings of the 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas, NV; 874-879, 1988). The fluorine process is much less sensitive to the composition of the regolith source material, and thus a better one for a lander which has to do a demonstration without extensive prospecting to find «good» rock types, and without extensive beneficiation processing to isolate the desirable type of source material. An additional advantage of this process sequence is that it produces oxygen from the lunar regolith with high yield, and that it produces byproduct metals such as aluminum, titanium, and iron, and byproduct magnesium and calcium oxide, which are either already purified or are relatively easy to separate in pure form (Seboldt, W., Lingner, S., Hoernes, S., Grimmeisen, W., Lekies, R., Herkelmann, R., and Burt, D., «Lunar Oxygen Extraction Using Fluorine,» Resources of Near Earth Space, pp. 129-148, J.S. Lewis, M.S. Matthews, and M.L. Guerrieri, eds., U. Arizona Press, Tucson AZ, 1993).

Materials and processes for fabricating shaped construction elements.

On the moon, the lunar highland material anorthite is similar to the earth mineral bauxite, which is an aluminum ore. Smelters can produce pure

aluminum, calcium metal, oxygen and silica glass from anorthite. Raw anorthite is also good for making fiberglass and other glass and ceramic products.

Allen C. C. et al. and Taylor et al. (Allen C. C. (1998) LPI Tech. Rep. 98-01, 1-2.

Taylor L. A. and Meek T. T. (2005) J. Aerospace Eng. 18, 3, 188-196.) offer method for synthesizing of lunar construction materials by calcination of a compacted lunar soil in a microwave furnace at temperature of up to 1500°C for periods of about 2 h. An attractive advantage of this approach compared to others is the ability to utilize lunar soil to produce large, strong, crack-free sintered bricks. However, this process requires high energy consumption and use of complicated high-temperature equipments.

5. Development of new processes for ISRU applications on Moon and Mars

SHS

SHS has been successfully applied to the synthesis of a large variety of materials. The self-propagating high-temperature synthesis (SHS) method is being developed world-wide for the low-cost production of engineering and other functional materials, such as advanced ceramics, intermetallics, catalysts and magnetic materials. The method exploits self-sustaining solid-flame combustion reactions which develop very high internal material temperatures (up to 4000°K) over very short periods. It therefore offers many advantages over traditional methods, such as much lower energy costs, lower environmental impact, ease of manufacture and capability for producing materials with unique properties and characteristics. Because Self-propagating High temperature Synthesis reactions based on the exothermic effect of reactions between components of initial mixture and the

reactants conversion to products is accompanied by a large heat release 1012-1014 W/m³ (Under such conditions, a high temperature combustion realized without requiring any additional energy supply) it is very significant advantage of method for potential in-situ fabrication of construction materials in Lunar and Martian environments.

SHS, Effect of gravity

Effect of gravity on the SHS studied by A.Shteinberg et al. from Russia (SHS of Ti+C) in parabolic flights and by O.Odawara from Japan (SHS Ti-Al-B, Zr-Al-Fe₂O₃, Ga-P, In-P, Ga-In-P) in 1990 in parabolic flights, dropping tower, sounding rocket. In 1992 J.Moore et al. studied SHS in system B₂O₃-C-Al in parabolic flight, in 1993 J.Lee from Canada studied SHS of system Zn-S in parabolic flight, in 1995 C.Lantz et al. from USA studied SHS of the system Ti-C in parabolic flight, in 1997 A.Varma et al. from USA studied SHS of the systems Ni-Al, Ni-Al-Ti-B, Ti-C-Ni-Mo, Ti-C-Ni in parabolic flight, dropping tower. From 1997 A.Merzhanov, et al. from Russia up to now systematically studied SHS of the systems Ti-C, Ti-C-Ni, Ni-Al, Ti-Si-C, NiO-Ni-Al, Ti-C-Ni-Al and etc. on the MIR space station (Fig.1 russian version). It was found that gravity affected processes during SHS are: formation of eutectic melts and contact melting, gas release (gasification), melting of reactants, spreading of molten phases, coalescence of fused particles, melting of intermediate products, phase separation in products, melt crystallization upon cooling.

The versatility of the SHS technology for ISRU and in situ fabrication and repair (ISFR) applications was emphasized in a paper review (Moore, H.C. Yi, J.Y. Guigne, The application of self-propagating high tem-

perature (combustion) synthesis (SHS) for in situ fabrication and repair (ISFR), and in situ resource utilization (ISRU), Int. J. Self-Propag. High Temp. Synth. 14 2005, pp. 131-149.), where the possible exploitation of this synthesis method for the fabrication of structural components, acoustic damping and in-space sterilization of materials coming from Mars was specifically addressed.

In an effort to conduct containerless materials(samples of experimental materials can be processed without ever touching a container wall) processing experiments involving Combustion Synthesis or Self-Propagating High Temperature Synthesis (SHS) on the International Space Station (ISS), a unique facility called Space-DRUMS (Fig.2 russian version) was developed and installed on ISS.(J.Y.Guigne, Containerless combustion synthesis processing in microgravity leading to product fabrication and resource utilization on iss, shs2011, Anavissos, Greece, p.168).

SHS with Lunar regolith

A base for exploration of the moon must assure the safety of the astronauts, especially from the severe radiation environment existing on the lunar surface (high-energy cosmic rays). Among various proposals for ensuring such protection, to reduce extremely expensive ferrying materials from earth, is the use of the lunar regolith (top-soil) either as a simple covering layer for a pre-constructed cubicle or as structural blocks. In the later case a simple technology to produce strong building blocks in-situ, under the lunar vacuum and environment is needed.

SHS could be adapted to produce exactly such structural blocks relatively easily and safely in-situ, only needing aluminium in addition to regolith, which could be recycled from the number of waste pieces from lunar



missions. In addition, SHS can also utilise Lunar regolith to produce flat, hard surfaces on lunar surface for various uses such as landing bases, flat surfaces for photovoltaics etc.

Recently there is significant increasing of quantity of published works on this subject.

K.White with collaborators did thermodynamic calculations of the adiabatic temperature (T_{ad}) and combustion products for the mixtures of Al and Mg with JSC-1A lunar regolith simulant comparative analysis of different additives to regolith (Al, Mg, Ti/2B) (White et al., Thermodynamic calculations of the adiabatic temperature (T_{ad}) and combustion products for the mixtures of Al and Mg with JSC-1A lunar regolith stimulant) comparative analysis of different additives to regolith (Al, Mg, Ti/2B). 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the

New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2011) with goal to minimize amount of additive that is required for stable combustion, determination of the effect of mixture density on the combustion characteristics and product properties, determination of the effect of vacuum and reduced gravity .

K.Martirosyan and D.Luss from University of Houston demonstrating the novel process for rapid production of dense ceramic composites from lunar soil simulant by using SHS. In this work studied combustion in mixtures of Lunar regolith simulant with Ti + 2B. Heat of exothermic reaction: $Ti + 2B \rightarrow TiB_2$ used for regolith sintering. (K. S.Martirosyan and D. Luss., 37th Lunar and Planetary Science Conference (2006), combustion synthesis of Ceramic Composites from Lunar Soil Simulant, p.1896).

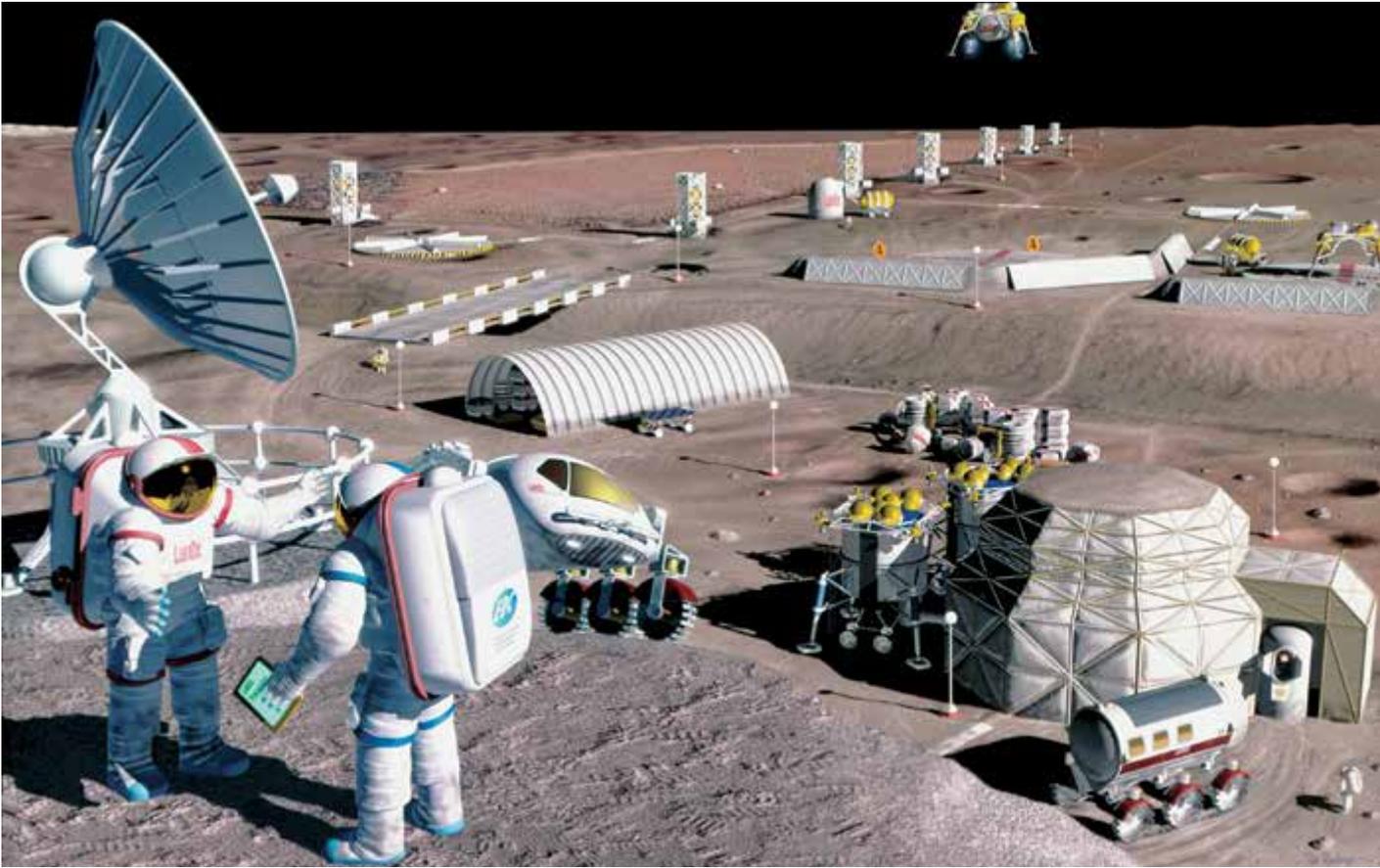
In works of G.Cao aluminum is used as reducing agent for all systems examined, whereas ilmenite and iron oxides, namely hematite are added to the initial mixtures to be reacted in order to increase their exothermicity. The effect of starting mixture compositions on the self-propagating behavior is examined under different gas pressures of the environment (atmospheric or vacuum) and gravity level (terrestrial or micro-gravity). (Fig. 3 russian version) show complete view of the apparatus used for SHS experiments performed on the ground and during parabolic flights. The obtained product, consisting of a complex mixture of various Al-, Ti-, Mg-, and Ca-oxides along with metallic and intermetallic phases, displays good compressive strength properties (25.8–27.2 MPa) that make it promising as construction material. (G. Corrias, R. Licheri, R. Orro, A. Concas, M. Pisu, G. Cao, Optimization of the self-propagating high-temperature process for the fabrication in situ of Lunar construction materials Chemical En-

gineering Journal 193–194 (2012) 410–421)

Faieron et al. (Eric J.Faieron, Kathryn V.Logan, Brian K.Stewart, Michael P.Hunt., Lunar Construction exploiting a thermite reaction between Lunar Regolith simulant JSC-1AF and Al powder. Acta Astronautica 67 (2010) 38-45) demonstrated combustibility of regolith/Al mixtures. The analyses presented in this study show that a regolith-derived voussoir dome type of structure is feasible from a structural standpoint. The thermite reactions using both JSC-1AF and JSC-1A lunar regolith simulant can be used to produce near net shape voussoir elements (Fig. 4a,b russian version) that would be adequate to assemble a voussoir dome half-sphere shape.

E. Shafirovich et al. from Center the University of Texas in 2010 published work where studied potential construction elements: bricks, tiles, ceramic layer on the Moon surface for landing/launching pads and thermal Wadis (Thermal Wadis are engineered sources of thermal energy and electrical power using the solar flux stored during periods of solar illumination to sustain lunar surface assets during cold periods of lunar darkness).

Our works ((K.Arvanitis,G. Xanthopoulou, G.Vekinis, L.Zoumpoulakis, T.Katsaros, T.Ganetsos. SHS production of structural units of lunar regolith stimulant, SHS2011, Anavissos, Greece, p.283-4)) based on main idea that the composition of the lunar regolith around the moon is not constant, different samples giving different composition. To adapt the SHS method, it was necessary produce SHS materials on basis of each mineral, but not regolith stimulant . It will be very useful for future exploration to have database for each mineral separately and calculate composition and condition of synthesis for any composition of regolith



of lunar surface. Aluminium was used as the reducer in every case since it can also be obtained by recycling wastes from previous lunar missions. (K.Arvanitis, G. Xanthopoulou, G.Vekinis, L.Zoumpoulakis, T.Katsaros, T.Ganetsos. SHS production of structural units of lunar regolith stimulant, SHS2011, Anavissos, Greece, p.283-4). For blocks for construction made by SHS using ilmenite-based initial powder batches, the final composition was various ratios of $\text{FeAl}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$, $\alpha\text{-Fe}$, $\alpha\text{-SiO}_2$, TiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ and displayed density 2.4-3.0 g/cm³ and compressive strength of 8–11MPa. For blocks for construction made by SHS using ilmenite-based initial powder batches, the final composition of various samples were found by XRD to be $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Al}_{0.75}\text{Cr}_{0.75})\text{O}_4$ or $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$. Density of the ceramic product was 3.0-3.5 g/cm³, compressive strength 10–12 MPa. Blocks for construction

were prepared by SHS method also on the base of other minerals and there mixtures, which contain Lunar regolith. The properties of the produced solid blocks are appropriate for a structure such as those that may be built on the moon to protect astronauts as well as for making flat surfaces, all in-situ on the moon.

ISRU research for Mars

ISRU research for Mars is focused primarily on providing rocket propellant for a return trip to Earth — either for a manned or a sample return mission — or for use as fuel on Mars. Many of the proposed techniques utilize the well-characterized atmosphere of Mars as feedstock. Since this can be easily simulated on Earth, these proposals are relatively simple to implement, though it is by no means certain that NASA or the ESA will favour this approach over a more conventional direct mission. A typi-

cal proposal for ISRU is the use of a Sabatier reaction, $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, in order to produce methane on the Martian surface, to be used as a propellant. Oxygen is liberated from the water by electrolysis, and the hydrogen recycled back into the Sabatier reaction. The usefulness of this reaction is that only the hydrogen (which is light) need be brought from Earth. A similar reaction proposed for Mars is the reverse water gas shift reaction, $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$. This reaction takes place rapidly in the presence of an iron-chrome catalyst at 400°C, and has been implemented in an Earth-based testbed by NASA. The net result of this reaction is the production of oxygen, to be used as the oxidizer component of rocket fuel. Another reaction proposed for production of oxygen is electrolysis of the atmosphere, $2\text{CO}_2 (+ \text{energy}) \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$. Mars Surveyor 2001 Lander MIP (Mars ISPP Precursor) was

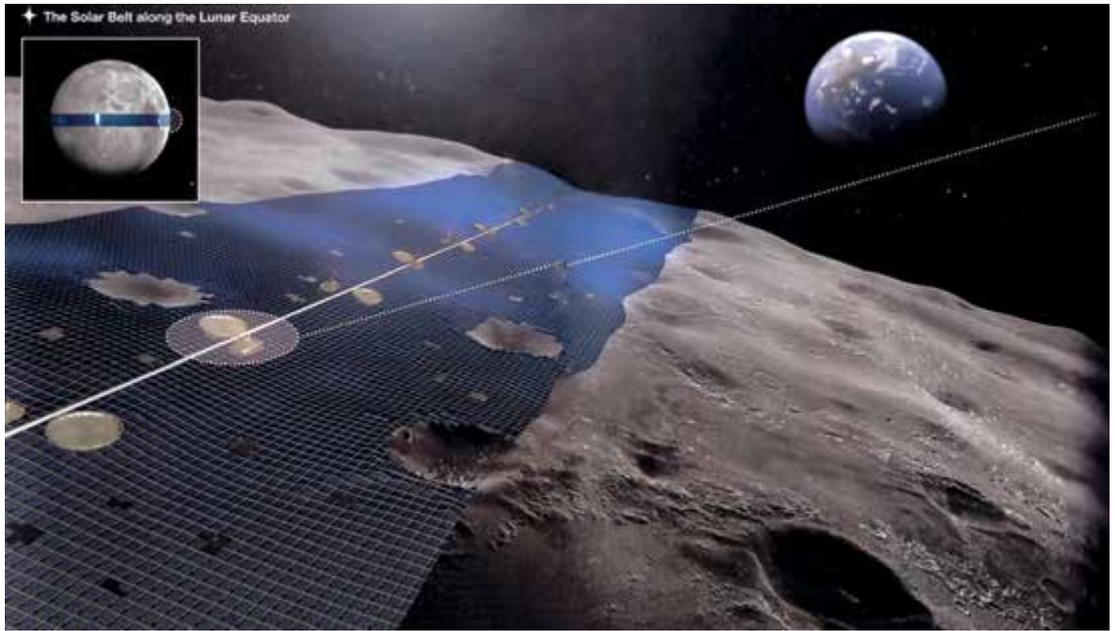


Fig. 6
The Solar Belt along
the Lunar Equator
Фото. 6
Солнечный пояс
(или кольцо) вокруг
лунного экватора

to demonstrate manufacture of oxygen from the atmosphere of Mars, and test solar cell technologies and methods of mitigating the effect of Martian dust on the power systems.

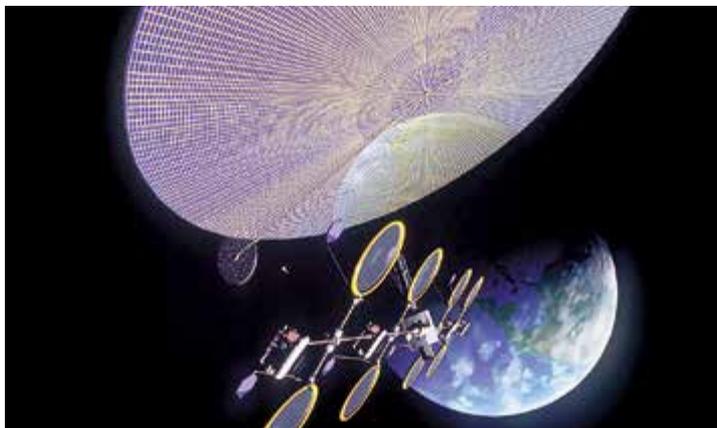
We work (S.Varitis, G.Xanthopoulou, G.Romanos, G.Vekinis, K.Karanasios, Combustion synthesis catalysts for CO₂ reforming of CH₄, XXVIII Panhellenic Conference on Solid State Physics and Materials Science, Patra, Greece, 2012) on catalytic CO₂ reforming of CH₄ to synthesis gas over catalysts produced by SHS method. This process also can be useful for Mars, because synthesis gas is source for production of large number of organic products.

Solar Power Generation -LUNA RING

Very challenging project proposed Shimizu Corporation (<http://www.shimz.co.jp/english/theme/dream/lunaring.html>). A shift from economical use of limited resources to the unlimited use of clean energy is the ultimate dream of all mankind.. Shimizu Corporation proposes The LUNA RING (Fig. 5) for the infinite co-existence of mankind and the Earth. Lunar resources will be used to the fullest extent possible in constructing the Solar Belt (Fig. 6). Water can be produced by reducing lunar soil with hydrogen that is imported from the Earth. Cementing material can also be extracted from lunar resources.

These materials will be mixed with lunar soil and gravel to make concrete. Bricks, glass fibers and other structural materials can also be produced by solar-heat treatments. To ensure continuous generation of power, an array of solar cells will extend like a belt along the entire 11,000 km lunar equator. This belt will grow in width from a few kilometers to 400 km. Microwave power transmission antennas. The 20 km-diameter antennas will transmit power to the receiving rectennas. Transportation route along the lunar equator. Materials needed for the construction and maintenance of the Solar Belt will be transported along this route. Electric power cables will be installed under the transportation route. Laser power transmission facilities. High-energy-density laser will be beamed to the receiving facilities. Solar cell production plants. The plants will move automatically while producing solar cells from lunar resources and installing them.

For such project are extremely important works for Lunar regolith utilization. Such long term project can unite efforts of all scientists working for space, for Lunar exploration, for future of our planet. ■



Launchers

Приложение к журналу «Космические исследования и технологии»

КОСМОДРОМЫ
И НОСИТЕЛИ



Национальный носитель: первый шаг

Космический 2012 год

Конкуренция строителей спутников нарастает

Национальный носитель: с чего начать



Дмитрий ВОРОНЦОВ,
независимый эксперт в области ракетно-космической техники,
Россия

Часть 1. Для чего?

В предыдущей статье, посвященной малым космическим аппаратам, был сделан вывод о нецелесообразности первоочередной разработки собственного носителя для страны, начинающей космическую программу. Но вывод этот — не абсолют. При всех сложностях, сопряженных с разработкой и производством ракеты-носителя, она дает одно незаменимое качество — независимый доступ в космос.

Зачем нужен собственный носитель?

На протяжении десятилетий мы имеем возможность наблюдать усилия, с которыми страны, не являющиеся лидерами технического прогресса, добиваются обладания собственными ракетами-носителями. К примеру, Бразилия уже почти сорок лет — с 1974 г. работает над национальным космическим носителем VLS. Своими космическими ракетами обзавелись Индия и Изра-

иль. Иран в 2009 году стал десятой космической державой, создав, хотя и не без помощи КНДР, собственную РН «Сафир». Сама Северная Корея только что присоединилась к «Большому космическому клубу», запустив спутник с помощью своей РН «Ынха-3». Стремясь к обладанию РН такие страны, как Пакистан, Индонезия, Тайвань и ЮАР. Крупные космические державы — объединенная Европа, США, Китай — не жалеют средств на обновление своего ракетного парка. Даже Великобритания, долгое время сознательно отказывавшаяся от крупных космических программ, подумывает о национальных средствах выведения.

Обладание собственными средствами выведения — не только атрибут, но и действенное средство национального суверенитета. Национальное ракетостроение, наряду со спутниковой индустрией, может стать локомотивом высокотехнологичных отраслей



промышленности и науки — радиоэлектроники, производства высокопрочных сплавов и композитов, прикладной математики. Понятно, что технические решения и технологии, свойственные ракетостроению, проблематично «транслировать» в другие отрасли. Зато ракетостроение становится «кузницей» кадров, способных успешно работать в высокотехнологичных производствах.

Итак, цель обладания собственной ракетой-носителем понятна — возможность реализовать полностью самостоятельную космическую программу. Сразу возникают вопросы. Под какие задачи создавать РН? Какие проблемы могут возникнуть при ее разработке, изготовлении и эксплуатации? Какие ресурсы необходимы для ее создания? Ответы на эти вопросы позволят сформировать требования к доступному национальному носителю, который, например, может позволить себе Казахстан.

Задачи

Очевидно, первоочередной задачей для собственной РН будет запуск малых космических аппаратов (МКА) собственной разработки. В прошлой статье была определена примерная целесообразная размерность спутника «начального класса», предназначенного для дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), в 50-100 кг. Соответственно, носитель должен быть рассчитан на выведение этого полезного груза. Эта размерность ставит ракету в ряд так называемых «нанолончеров» (nanolaunchers) — РН, предназначенных для одиночного или группового запуска нано-спутников массой от 1 до 10 кг, а также микроспутников массой от 10 до 100 кг.

Указанное обстоятельство делает ракету привлекательной для обеспечения коммерческих



запусков КА множасьего класса «нано». Но надо иметь в виду, что задача эта может быть лишь вспомогательной — рынок запуска МКА не слишком богат деньгами. Упрощенно, запуск спутника типа «кубсат» массой 1 кг обходится заказчику примерно в 60 тыс \$. Т.е. носитель грузоподъемностью около 100 кг способен вывести с десяток кубсатов и принести своим владельцам 600 тыс \$. Этого явно недостаточно, чтобы окупить стоимость запуска, которую предварительно можно оценить в 3-5 млн \$.

Несколько больше можно заработать на запуске иностранных микроспутников. Возможно, оплата заказчика даже позволит окупить операционные затраты на миссию. Но таких заказов будет сравнительно немного: слишком сильна конкуренция со стороны попутных запусков на РН среднего класса. К тому же, на Западе вскоре появятся свои носители малого и сверхмалого классов. Значит, с самого начала надо оставить несбыточные надежды создать прибыльный бизнес на пусковом



рынке нано — и микроспутников. Нужно четко понимать, что свой носитель нужен не для коммерции, хотя и она, повторимся, не исключена. Собственная РН — инструмент суверенитета, обеспечения интересов страны в космосе. (В скобках заметим, что неудача проекта «Ишим», возможно, была связана именно с переоценкой коммерческих перспектив, которых у средств выведения сверхмалого класса пока в принципе быть не может).

Кроме своих прямых «обязанностей» национальный но-



ситель может выступать в качестве платформы для испытания материалов, технологий и различных технических решений. К примеру, на нем можно испытывать модели гиперзвуковых аппаратов, в том числе для зарубежных заказчиков. Также возможно использование ракеты для сравнительно недорогих экспериментов по спасению и повторному использованию отдельных элементов конструкции. Разумеется, носитель может быть использован и для высотных зондирующих запусков в интересах науки. А если дать волю фантазии, то можно представить себе и суборбитальные пилотируемые полеты, при подтверждении, разумеется, высокого уровня надежности. В целом вывод прост: чем больше задач для РН, тем больше пусков и тем дешевле каждый из них.

Проблемы и их решение

Создание собственной ракеты-носителя — процесс заведомо сложный и затратный. Страны — пионеры космической эры, СССР и США, нарабатывали опыт современного ракетостроения с 1920-30-х гг., прошли школу боевого применения ракетного оружия в годы Второй мировой войны и получили «немецкое ракетное наследие». И даже им пришлось затратить огромные ресурсы для создания межконтинентальных баллистических ракет и космических носителей. А на решение задачи ушло около 10 лет. Современным новичкам космонавтики, не имеющим такого задела, приходится сталкиваться с серьезными трудностями.

Проблемой номер один является отсутствие опыта и национальных кадров. Начинать с нуля всегда сложно. Упомянутая в самом начале статьи Бразилия поставила задачу создания собственного космиче-

ского носителя VLS еще в далеком 1974 году. Однако за почти сорок лет бразильцы не смогли выполнить ни одного успешного пуска — все три попытки были неудачными. Последняя из них в 2003 году завершилась катастрофой — при подготовке к пуску ракета взорвалась на стартовом столе, унеся десятки жизней. Следующая попытка пустить злополучную VLS будет предпринята не ранее 2014 года. Неудача заставила Бразилию искать другие варианты доступа в космос. В 2004 году было ратифицировано украино-бразильское соглашение, инициировавшее проект «Алкантара-Циклон-Спейс», в рамках которого с бразильского космодрома Алкантара должны стартовать коммерческие носители «Циклон-4», разработанные в днепропетровском КБ «Южное».

Иран, начавший свои космические изыскания еще во времена шаха Реза Пехлеви, также был вынужден воспользоваться зарубежным опытом — в создании РН ему помогала Северная Корея, которая в свою очередь использовала советские и, возможно, китайские технологии. Южная Корея, пытавшаяся на рубеже веков разработать космический носитель собственными силами, в конечном итоге заключила соглашение с Россией, в рамках которого появилась ракета-носитель «Наро-1» (KSLV-1).

Вывод очевиден. Если Казахстан стремится обрести собственные средства выведения, он должен кооперироваться с другими странами. Очевидными партнерами в проекте могут стать Россия и Украина, имеющие большой опыт ракетостроения и являющиеся партнерами Казахстана. Кроме того, их привлечение, вероятно, позволит оптимально решать вопросы, связанные с международными договорен-

ностями, ограничивающими экспорт ракетных технологий. При этом представляется целесообразным создание ракетного КБ на территории Казахстана и обучение специалистов в профильных вузах России и Украины.

Кроме кадровой, неизбежно возникнут проблемы технические. Первая среди них – где взять подходящий двигатель? И, вообще, какой тип топлива выбрать — жидкое или твердое? Некоторые страны — Израиль, Бразилия, Индонезия — сделали ставку на ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ). Конструктивно РДТТ на порядок проще жидкостного ракетного двигателя. В нем очень мало подвижных узлов, нет сложной пневмогидравлической системы, отсутствует проблема колебания жидкости в баках. На первый взгляд, применение РДТТ – идеальное решение для страны, начинающей собственную ракетостроительную программу. Но современный твердотопливник требует наличия высококлассной химической промышленности, способной создать высокоэффективное смесевое топливо и композиты для изготовления корпусов двигателя. Кстати, Израиль при создании РН «Шавит» опирался на французские разработки — БРСД «Иерихон» — середины 1960-х гг. Индонезия и Бразилия экспериментируют самостоятельно. Чем закончились эксперименты Бразилии, мы уже знаем...

Самостоятельная разработка жидкостного ракетного двигателя — тоже задача не из простых. Попытаешься сделать простой ЖРД с вытеснительной подачей — потеряешь в эффективности. Возьмешься за турбонасосный двигатель — погрязнешь в проблемах. Современное ракетное двигателестроение требует квалифи-





цированных специалистов в таких областях, как термодинамика, материаловедение и металлургия, химия, прикладная математика. И этого мало — нужна мощная экспериментальная база и современное производство. Можно, конечно, все это создавать с нуля или модернизировать имеющуюся основу. Но на это могут уйти десятилетия. Если есть желание сделать проект быстрее, надо искать иное решение.

Представляется, что, к примеру, для Казахстана, оптимальный выбор — это покупной ЖРД, желательно из числа уже имеющихся или проектируемых двигателей. Почему? Ставка на покупной РДТТ неизбежно приведет к тому, что практически все проектно-конструкторские работы по ракете будут делаться за рубежом, ведь твердотопливный двигатель — это 95% ракеты. На долю собственных разработок, в лучшем случае, придется проектирование межступенчатых переход-

ников, головного обтекателя да системы управления. Выбор ЖРД позволит все проектные работы по корпусным отсекам оставить у себя, загружая собственных специалистов и нарабатывая необходимую опыт. В пользу ЖРД и тот факт, что в России и Украине уже имеется довольно обширный ассортимент серийно производимых ЖРД. Как говорить, есть из чего выбирать!

Еще один довод в пользу ЖРД — его более высокий удельный импульс. Величина последнего прямо влияет на расход топлива: чем выше удельный импульс, тем ниже потребная масса топлива, а значит меньше и стартовая масса, и габариты ракеты. Обладая более высокой эффективностью, ЖРД позволяет уменьшить количество ступеней. Например, при использовании РДТТ космическому носителю требуется не менее трех, а то и четырех, ступеней, тогда как жидкостная ракета

может иметь всего две. Кроме упрощения конструкции это требует всего лишь одной зоны отчуждения для падения первой ступени и головного обтекателя. В качестве таковой может использоваться, например, зона падения 1-й ступени РН «Зенит». Если ступеней три, то под падение второй из них, придется договариваться об аренде земли с соседями.

Еще одна техническая проблема, которую будет необходимо решить — наземная инфраструктура. Ракета получается небольшой, по первоначальным прикидкам, со стартовой массой 15-20 тонн. Для таких малышек нет готовых стартовых комплексов. Но нужны ли они? Вспомним, одним из основных заказчиков запусков будут военные, которым требуется высокая готовность к пуску и возможность его осуществления из любого места. Напрашивается идея мобильного старта. В странах СНГ имеется значительное количество вездеходов-ракетовозов. Поскольку масса пустой жидкостной ракеты составит всего 2-3 тонны, для ее транспортировки может быть использован, к примеру, МАЗ-543А комплекса 9К72 «Эльбрус» (в обиходе — всемирно известный СКАД). Компоненты топлива могут подвозиться в цистернах, размещенных на аналогичных шасси. Подготовка ракеты к пуску может осуществляться в одном из многочисленных МИКов Байконура или в специально построенном арсенале.

Ресурсы

Помимо кадрового ресурса, который мы уже обсудили, для создания национального носителя требуются определенные, и немалые, материальные и финансовые ресурсы. С производственной базой несколько проще — корпусные отсеки из недефицитных ма-

териалов (алюминиевые сплавы АМг-6, Д-16, нержавеющая сталь) можно производить на общемашиностроительных или оборонных предприятиях, где потребуются «подтянуть» культуру производства. Но поскольку мы помним о том, что ракетостроение — это «локомотив» высоких технологий, необходимо предусмотреть, пусть и ограниченное, но применение перспективных материалов, например, угле — и органопластиков.

Что касается финансовых затрат, то они могут достигать сумм, измеряемых десятками и сотнями миллионов долларов. Для Казахстана это ощутимые затраты, поэтому их минимизация — важная задача. Не вдаваясь в подробности, можно выделить несколько способов их уменьшения: максимальное использование готовых технических решений и технологий, а также готовых элементов; применение недефицитных материалов и сырья; использование недорогих компонентов топлива. Необходим также четкий график расходования средств: финансирование должно соответствовать сложности и трудоемкости текущего этапа работ. Общий объем затрат на проектирование, изготовление опытных образцов и их летно-конструкторских испытаний можно оценить цифрой в 100...150 млн \$ в течение 5-6 лет. Что же должно получиться «на выходе»?

Обобщая вышесказанное, можно сформулировать общие требования к национальному носителю:

- грузоподъемность на низкой околоземной орбите высотой 200 км, в том числе полярной — не менее 50 кг;
- целевая стоимость пуска — не более 3...5 млн \$ (в перспективе — 1...2 млн \$)
- разработка и производство носителя должны про-



изводиться в международной кооперации;

- ракета должна иметь две ступени максимально простой конструкции;
- должна быть обеспечена возможность использования упрощенного блока выведения при запуске КА на более высокие орбиты (до 600...700 км);
- падение первой ступени и головного обтекателя должно обеспечиваться на территории Казахстана в одну из существующих зон отчуждения;
- необходимо предусмотреть максимально возможное использование готовых узлов, решений, технологий;
- применение недефицитных материалов в сочетании с перспективными композитами в ограниченном объеме;
- необходимо использование недорогих нетоксичных компонентов ракетного топлива;
- должна быть обеспечена высокая оперативность пусков: старт в течение суток

после поступления приказа (в случае наличия в арсенале готовых КА и РН);

- старт — мобильный, с колесного шасси, штатно — с территории космодрома Байконур, в чрезвычайных ситуациях — из любого места;
- простота технического обслуживания и подготовки к пуску с минимально необходимым расчетом (не более 10...20 человек);
- безопасность пуска для наземного персонала.

Насколько реально выполнить эти требования в рамках определенных ограничений по ресурсам? При наличии политической воли и при ясном понимании целей и задач, возложенных на национальную РН, вполне реально. Это подтверждается примерами таких стран, как Израиль, Иран и КНДР, никогда не обладавших избыточными ресурсами. ■

Окончание следует

Часть 2. Вариант реализации

В первой части статьи были сформулированы цели, задачи и основные требования к национальному носителю. Эти требования могут быть реализованы множеством способов. Предлагаемый ниже — один из них.



Подход к проекту

В основу проекта малой РН положено несколько основных принципов, вытекающих из требований. Ракета-носитель — двухступенчатая тандемной схемы. Для небольшого изделия данная схема является наиболее простой и «легкой». В качестве компонентов топлива выбраны нетоксичные и недорогие жидкий кислород и керосин. С целью упрощения эксплуатации систему наддува целесообразно делать на основных компонентах, без использования сжатых газов типа азота или, тем более, дорогостоящего гелия.

Конструктивное совершенство ракетных блоков принимается на довольно низком уровне. Во-первых, потому что ракета мобильная, а это сопряжено с дополнительными динамическими нагрузками. Во-вторых, необходимо учитывать масштабный фактор: не все узлы и детали ракеты можно уменьшить пропорционально ее стартовой массе, а силовые элементы не могут иметь сечения и толщины меньше технологических и эксплуатационных ограничений. Например, толщину обшивки сухих отсеков не рекомендуется принимать менее 0,8 мм, а крепеж — менее М8. Наконец, занижение конструктивного совершенства развязывает конструктору руки в выборе конструктивно-технологического решения без боязни снизить массу полезного груза (ПГ). Для расчетов принято отношение начальной массы ракетного блока к его конечной массе около 6 (для

современного ракетостроения это значение лежит в пределах 10-15 для ракет, использующих жидкий кислород и углеводородное горючее).

В качестве двигателя первой ступени выбираем РД0110Р, рулевой двигатель перспективной российской РН легкого класса «Союз-2.1в». Этот ЖРД тягой более 23 тс на уровне моря имеет прототип, успешно летающий уже полвека. К тому же он уже оснащен системой управления вектором тяги, причем с отклонением камер на углы до $\pm 45^\circ$. Правда, двигатель придется несколько доработать, вернувшись к системе наддува исходного РД0110 (наддув бака ЖК газифицированным кислородом, а бака керосина — газогенераторным восстановительным газом). Перекомпоновка агрегатов двигателя под новый хвостовой отсек принципиальных проблем не создает.

Несколько сложнее обстоят дела с выбором двигателя для второй ступени. Ни в России, ни в Украине сейчас нет готового, т.е. испытанного и находящегося в серийном производстве, двигателя тягой 2-3 тс на компонентах ЖК+керосин. Поэтому в качестве прототипа такого ЖРД выбраны двигатели РД-802 (разработка КБ «Южное», Украина) и РД-161 (НПО «Энергомаш», Россия). Оба двигателя выполнены по замкнутой схеме с дожиганием окислительного генераторного газа. У российского двигателя на 20 единиц выше удельная тяга, но он тяжелее украинского аналога. Еще одним вариантом может стать конверсия ЖРД С5.92 (или С5.221) разгонного блока «Фрегат»: перевод двигателя с токсичных компонентов на жидкий кислород и керосин. В любом случае, разработка ЖРД для второй ступени, вероятно, станет самой затратной — как в смысле денег, так и времени — частью проекта.



Таким образом, концепция малого национального носителя сформирована. Дело за малым — определить количественные значения основных параметров и характеристик ракеты.

Проектные параметры

Основные параметры выбирались, исходя из достижения максимума массы ПГ при заданной тяге двигателей ступеней – РД0110Р и РД-802. При этом расчет велся для низкой круговой орбиты высотой 200 км и наклоном $51,8^\circ$. Результат оптимизации показан на Рис. 1. Видно, что наибольший ПГ — примерно 122 кг — достигается при стартовой массе ракеты чуть менее 20 т. Однако стартовая тяговооруженность (отношение стар-

товой тяги к весу РН) при этом составляет менее 1,2, что может неблагоприятно сказаться на кинематике стартового участка: ракету может снести ветром в «неправильном» направлении. К тому же, рост стартовой массы увеличивает габариты и стоимость ракеты. Рациональным значением стартовой массы представляется 18 тонн. Ценой потери менее 6% массы ПГ тяговооруженность сохранена на более приемлемом уровне, а стартовая масса и длина ракеты уменьшились на 10%. При этом полученная масса ПГ — 115 кг — вполне достаточна, поскольку с запасом выполняет требование по грузоподъемности.

Основные параметры выбранного варианта приведены в Таблице 1.

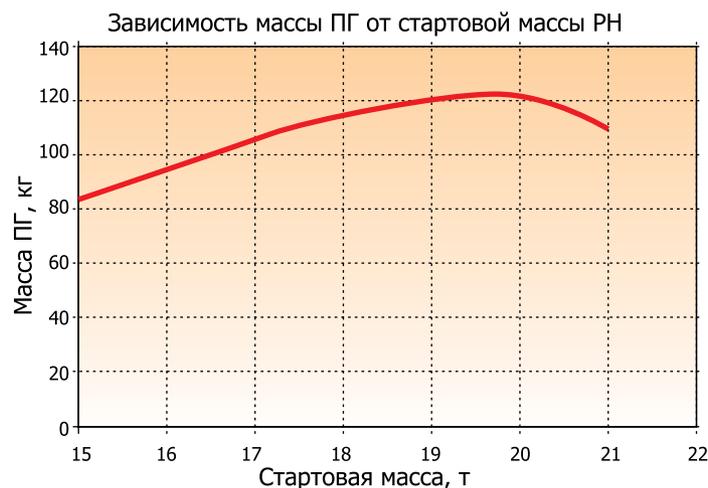


Рисунок 1



Энергетические возможности РН представлены в Таблице 2 и визуально — на Рис. 2.

Результаты расчетов показывают, что наш «нанолончер» способен выводить микро-спутники ДЗЗ массой до 50 кг на орбиты высотой 350 км при средних наклонениях и до 34 кг — на полярные орбиты. Для более высоких орбит энергетики РН явно маловато — у двух ступеней, особенно при невысоком конструктивном совершенстве, оказываются «руки коротки». Для миссий с более высокой энергетикой нужен разгонный блок, либо повторное включение ЖРД второй ступени.

В принципе, двигатель РД-802 по проекту способен выдать до пяти включений. Но в этом случае, вторая ступень должна

Таблица 2

высота орбиты, км	Масса выводимого ПГ, кг	
	i=51,8	i=90
150	131	84
200	115	71
250	97,5	54
300	76	34
350	49	11,6
400	23	-
450	1	-

быть оснащена дополнительными системами: ориентации и стабилизации на пассивных участках, а также обеспечения повторного запуска. Это не только усложнение, но и существенный прирост пассивной массы. Впрочем, этот вариант требует гораздо более тщательного расчета, и его не стоит исключать из перспективных планов. Но на первом этапе более простым может оказаться решение, использующее небольшой апогейный РДТТ однократного включения.

Схема с выведением с апогейным двигателем проста. РН «забрасывает» спутник в перигей эллиптической орбиты, апогей которой имеет ту же высоту, что и целевая орбита. Через полвитка, в апогее, включается РДТТ и выдает разгонный импульс. По расчету, применение апогейника с удельным импульсом примерно 280 единиц позволит вывести на орбиту высотой 600 км и наклонением 51,8° спутник массой около 80 кг, а на полярную орбиту той же высоты — до 45 кг. Кстати, небольшой твердотопливный разгонный блок «Тор» несколько лет назад предлагало КБ «Арсенал» (г.Санкт-Петербург), он как раз предназначался для довыведения нано- и микро-спутников.

В целом носитель сопоставим по возможностям с

Таблица 1

Параметр	Значение	
РН в целом		
Стартовая масса, кг	18000	
Масса ПГ на опорной орбите (200x200 км, i=51.6°), кг	115	
Масса головного обтекателя, кг	30	
Диаметр, м	1,5	
Общая длина, м	≈15	
По ракетным блокам ступеней	1 ступень	2 ступень
Начальная масса, кг	15802,0	2052,0
Конечная масса, кг	2322,4	345,6
Удельный импульс у земли, с.	259,1	—
Удельный импульс в вакууме, с	298	344
Тяга у земли, тс	23,5	—
Тяга в вакууме, тс	27,0	2

Зависимость массы ПГ от высоты и наклонения орбиты

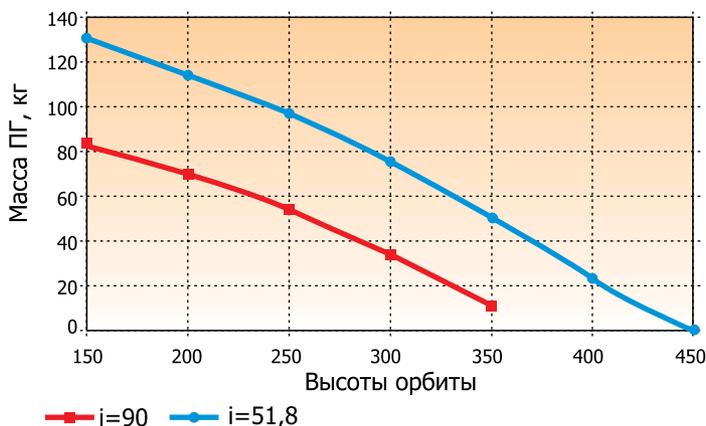


Рисунок 2



иранской РН «Сафир», а также перспективным американским «нанолончером» SWARDS, проектируемым по заказу Армии США.

Как это выглядит?

Проектировочные расчеты дали основу для выполнения объемной компоновки ракеты-носителя. В результате получилось довольно стройное изделие длиной 15 м и диаметром 1,5 м (см. Рис. 3). Выбранный диаметр позволяет существенно упростить изготовление баков. Ракетный блок второй ступени скомпонован вполне стандартно: бак окислителя соединен последовательно с баком горючего коротким межбачковым отсеком, снизу к баку горючего крепится хвостовой отсек с двигателем РД0110Р.

Топливный отсек второй ступени скомпонован в форме тороида. Данная компоновка выбрана из-за небольшого объема топлива, попытка размещения которого в обычных цилиндрических баках ведет к их вырождению в «чечевицы» с низкой весовой отдачей. Выбранная компоновка позволила практически отказаться от сухих отсеков, занимающих мизерный объем. Внутри полости тороида размещен двигатель РД-802. Его придется также доработать, поскольку для надду-

ва бака горючего потребуется отдельный восстановительный газогенератор. Кстати, в нем же можно будет разместить и испаритель жидкого кислорода.

Важнейшей задачей всего проекта будет обеспечение эксплуатационной надежности ракеты-носителя малого класса. Поскольку, пусть и нечасто, но время от времени, ее придется пускать из районов, где отсутствует какая-либо стационарная наземная инфраструктура, то необходимо предусмотреть возможность автономного использования ракетного комплекса. В первой части статьи предлагалось использование шасси колесного тягача МАС-543А. Но, возможно, лучшим решением будет применение более грузоподъемного средства — тягача МАЗ-547, применявшегося в составе ракетного комплекса средней дальности «Пионер».

В составе комплекса, как представляется, целесообразно иметь три мобильных установки. Пусковая установка с ракетой и заправщик жидкого кислорода (которого на пуск потребуется 12-15 т с учетом возможных потерь) — на базе МАЗ-547, а заправщик керосина (его потребуется не более 5 тонн) — на более легком вездеходном шасси подходящей грузоподъемности. Весь расчет должен размещаться только на



этих установках. Автономная система электропитания (дизельгенератор) должна иметься на каждом транспортном средстве.

В чрезвычайных ситуациях, при пусках вне космодрома, в случае сбоя, времени на слив компонентов, снятие носителя с ПУ и возврат его в МИК для устранения неисправностей времени не будет. Поэтому порядок операций пусковой кампании должен быть четко продуман. Например, в особый период в запуске могут участвовать две пусковые установки (ПУ) с ракетами — основная и резервная. Заправляться компонентами будет та из них, которая пройдет предстартовые проверки «без сучка и задоринки». Соответственно, ПУ должна иметь встроенную быстродействующую систему диагностики систем ракеты.

Циклограмма подготовки пуска должна быть полностью автоматической после подсоединения заправочных магистралей. Их подсоединение перед заправкой может быть ручным, но отстыковка — автоматической. В степи сливать компоненты топлива будет некуда. То есть, можно, конечно, но это будет долго и взрывоопасно. Поэтому заправленная ракета должна улететь в любом



Рисунок 3

случае: если с ней не все в порядке, ее лучше ликвидировать в полете на безопасной высоте.

Управление пуском должно проводиться с выносного пульта дистанционного управления, удаленного на безопасное расстояние от ПУ. Все команды на борт РН должны передаваться по защищенному радиоканалу. Возможно, что для пульта управления пуском потребуется еще один автомобиль повышенной проходимости.

Поскольку ракета-носитель будет стартовать далеко не в тепличных условиях, необходимо принять ряд мер для ее надежного использования. Конструкция ракеты должна быть в пыле-влажностоустойчивом исполнении. Также должна быть обеспечена защита от насекомых и грызунов. На ПУ ракета размещается в транспортном контейнере. Последний представляет собой неотъемлемую часть пусковой установки и выполняет не-

сколько функций: защищает ракету от пыли при движении и подготовке к пуску; обеспечивает фиксацию ракеты на ПУ и равномерное распределение нагрузок; обеспечивает вертикализацию РН и ее заправку. Конструкция контейнера обеспечивает беспрепятственный доступ к космической головной части (КГЧ) и ее замену при необходимости, в том числе в «полевых условиях».

Нижняя половина цилиндрического транспортного контейнера является ложементом, на который ракета опирается при движении. К ней крепятся и гидроцилиндры подъема РН. После вертикализации РН, ложемент отводится в исходное положение, выполняя роль экрана-газоотражателя для защиты шасси от воздействия выхлопа двигателя первой ступени. Верхняя половина контейнера является кабель-заправочной мачтой, внутри ее размещены пневматические

и гидравлические магистрали, а также электропроводка и кабели системы управления пуском. Связующим звеном всех элементов контейнера является силовое кольцо, также играющее роль опоры для вертикально установленной РН. К нему же на шарнирах крепятся створки транспортного контейнера. К заднему торцу силового кольца прикреплен газоотражатель, который может быть покрыт абляционной теплозащитой для обеспечения многократного применения.

Итак, облик перспективного малого носителя определен. Теперь можно представить, как он будет работать.

Типовая миссия

Лето 20.. года. N-ская войсковая часть получает приказ осуществить учебно-боевой запуск спутника детальной разведки в интересах национальной обороны. В арсенале производится сборка ракетных блоков и их укладка в транспортный контейнер. Все операции занимают не более двух-трех часов, ведь компоненты носителя находятся в высокой готовности. Надо только со-

Рисунок 4

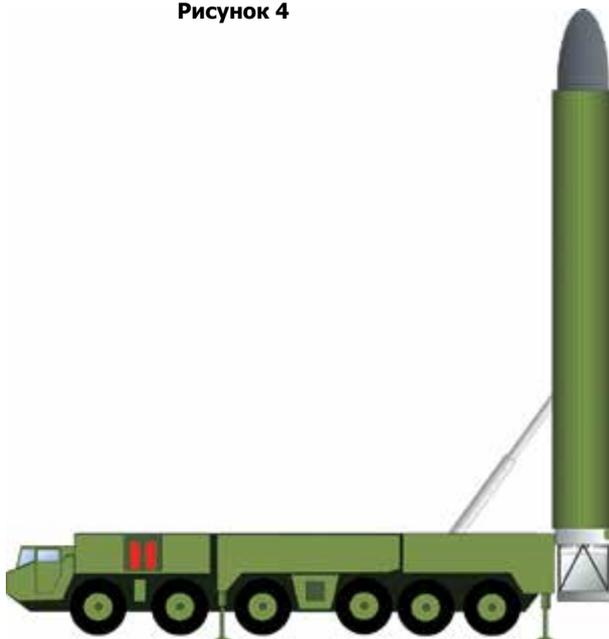
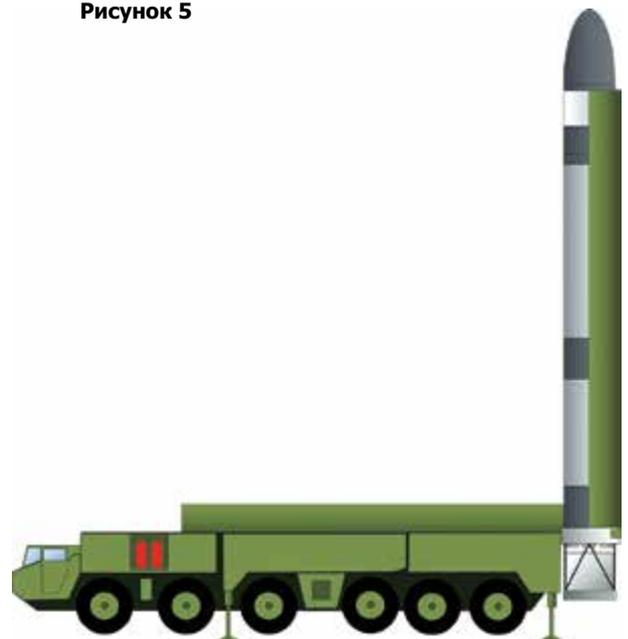


Рисунок 5



стыковать блоки, снять несколько заглушек и соединить сборку с интерфейсами контейнера. Работу выполняют всего несколько человек...

В ангар въезжает тягач — пусковая установка. Ракета в контейнере укладывается на ПУ, к ней через интерфейсы контейнера подключаются кабели электропитания и системы управления пуском. К этому моменту в ангар доставлен спутник. Производится сборка КГЧ и ее стыковка с ракетой. Запускается система диагностики, которая через несколько минут выдает сообщение о том, что все системы носителя и спутника в норме. Параллельно такую же подготовку проходит резервный носитель. А где-то в нескольких десятках километрах, на космодроме Байконур заливаются компоненты топлива в взеходы-заправщики.

Наконец, все готово. Ворота ангара распахиваются, и из них одна за другой выезжают две ПУ. Караван держит путь в заранее определенную точку пуска. Сначала машины едут по асфальтовой дороге, но вскоре съезжают с нее в степь. Через два часа машины прибывают на место, приемник спутниковой навигационной системы подтверждает, что координаты точки старта практически совпадают с заданными. Через пару минут к месту старта подъезжают заправщики. На ПУ выдвигаются гидравлические опоры и упираются в землю. Начинается вертикализация ракет. В считанные минуты мощные гидроприводы поднимают РН с контейнерами и с высокой точностью устанавливают их в вертикальное положение. Система диагностики вновь проверяет системы: при движении по пересеченной местности может отсоединиться какой-нибудь разъем. Но все в порядке — обе ракеты гото-

вы к пуску. К основной из них подъезжают заправщики, вторая ракета вновь переводится в горизонтальное положение, и ПУ с ней отъезжает на безопасное расстояние.

Расчет соединяет заправочные разъемы заправщиков, а затем отходит метров на сто от точки старта. То же самое делает пусковой расчет с пультом дистанционного управления. Нижняя створка контейнера возвращается в горизонтальное положение, обеспечивая беспрепятственный выход дренируемого кислорода. Затем в баки ракеты от заправщиков подается сухой азот для предварительного наддува. Начинается автоматическая заправка, она идет не более получаса. Параллельно, в систему управления вводится полетное задание, начинается решение навигационной задачи. После завершения заправки разъемные соединения продуваются азотом и автоматически разъединяются. Водители заправщиков возвращаются к машинам и отгоняют их на безопасное расстояние.

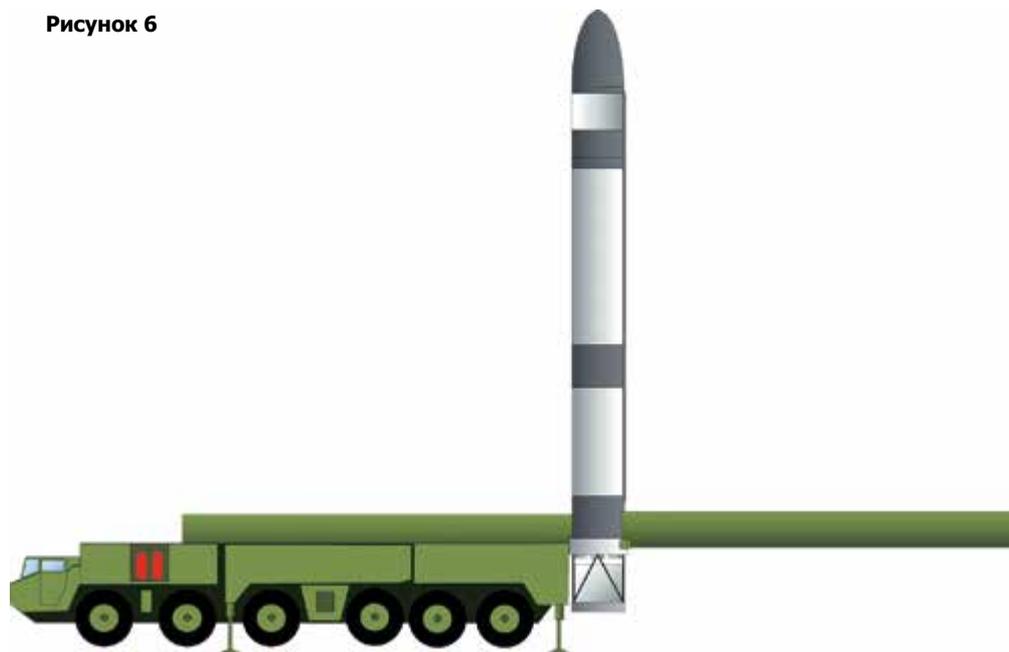
Ракета переводится на бортовое питание, начинает-

ся финальный отсчет. С борта ракеты по радиоканалу на пульт управления поступает телеметрия. Расчет видит на жидкокристаллических дисплеях лишь критически важные информацию — с десяток параметров, не более. Остальная телеметрия записывается в память, ее расшифруют потом. Верхняя створка контейнера, выполняющая функции КЗМ, отводится в сторону. С пульта дистанционного передается команда «Зажигание». Из сопел РД0110Р вырывается сноп пламени. Через секунду ЖРД выходит на 100% тяги, но за мгновение до этого ракета уже оторвалась от силового кольца: есть «Контакт подъема»!

Носитель, ускоряясь, уносится в небо. Томительно тянутся минуты, но телеметрия говорит — «все в порядке». Проходит менее восьми минут, и пусковой расчет получает сигнал об отделении спутника на орбите, близкой к расчетной. Проходит еще несколько секунд, и уже сам спутник передает на Землю первые сигналы. Он жив и работает, миссия выполнена! ■

На Рис. 3, 4, 5 и 6, соответственно, изображена пусковая установка с ракетой-носителем в транспортном положении, при вертикализации, во время заправки и при старте.

Рисунок 6



2012: ИТОГИ ПУСКОВОЙ программы

Олег ТВЕРСКОЙ
космодром Байконур



В ушедшем году в мире было проведено 76 пусков ракет-носителей (24 пуска выполнено Россией, 19 — Китаем, 13 — США, 10 — компанией Agianespace (Европа), три — консорциумом Sea Launch, по два — Индией, Японией и КНДР, один — Ираном) с целью вывода на орбиту космических аппаратов различного назначения. Пуск, выполненный в КНДР 13 апреля, завершился аварией. Еще один аварийный пуск был проведен с Байконура 6 августа, ког-

да из-за нештатной работы разгонного блока «Бриз-М» (входящего в состав ракеты «Протон-М») были утеряны два спутника Telkom-3 и «Экспресс МД-2».

К числу «частично успешных» относят пуск 7 октября американской ракеты Falcon-9: выводилось два космических аппарата, Dragon CRS и Orbcomm 2G-1, последний на штатную орбиту не был выведен и сгорел в атмосфере 10 октября. Еще один частично успешный пуск состоялся 8 декабря; ракета «Протон-М» успешно вывела

разгонный блок «Бриз-М» со спутником «Ямал-402» на низкую орбиту. Однако разгонный блок при последнем включении недоработал 4 минуты, в результате чего спутник оказался на орбите, ниже расчетной и на геостационар его пришлось довыводить, расходуя топливо из баков космического аппарата, что сократит срок его эксплуатации в космосе.

Эксперты считают, что есть косвенные признаки того, что в 2012 году в Иране было две попытки пусков, 23 мая и 22 сентября, которые, однако,

завершились авариями ракет-носителей. Каких-либо официальных подтверждений по этим пускам нет, и они в статистике не учитываются.

Общее число запущенных в 2012 году носителей по сравнению с предыдущим годом уменьшилось почти на 10%. После практически стабильного ежегодного роста, который наблюдался в предыдущие годы, это первое снижение количества запусков. Возможно, такая ситуация возникла из-за того, что экономический кризис «докатился» и до спутникостроителей – срок создания космических аппаратов составляет около трех лет и в предыдущие годы на орбиту запускались спутники, заказанные еще до кризиса. Другим фактором, уменьшающим число пусков, является повышение эффективности и срока службы космических аппаратов: они в разы (а то и на порядки) превосходят предыдущее поколение, и в связи с этим не требуется такое большое число спутников, чтобы обеспечить потребности. Остаются в действии и факторы, играющие на рост числа пусков. Прежде всего, это, конечно, появление новых секторов рынка, куда проникают космические сервисы и развитие действующих систем.

Статистика показывает, что страны «космического клуба» по числу пусков распределились на три устойчивые группы: «большая четверка» (Россия, Китай, США и Европа). Это страны, имеющие долгую историю эксплуатации отечественных ракет-носителей, развитый парк ракет и солидные космические бюджеты. С большим отрывом от них расположилась группа из Sea Launch, Индии и Японии. Замыкают список «начинающие» — Северная Корея и Иран.

Русский космос

Удержав за собой общее лидерство по числу пусков, Россия, тем не менее, существенно сократила общее число пусков за год по сравнению с предыдущим годом (на 8 пусков, 25 %). Россия сохранила за собой первое место и по коммерческим пускам. Уменьшение пусковой активности связано с неготовностью новых спутников и «простоем» «Протонов» после расследования аварии разгонного блока «Бриз-М» в августе 2012.

По сравнению с предыдущим годом уменьшился уровень аварийности при запусках российских ракет. Все ракеты стартовали успешно, но дважды подводили разгонные блоки «Бриз-М», когда спутники оказывались на нерасчетных орбитах.

Среди космодромов мира чемпионский титул вновь остался за Байконуром, со стартовых площадок которого в течение года ушло в космос 19 ракет. В том числе с Байконура успешно проводились пуски по пилотируемой программе: выполнено четыре запуска кораблей «Союз-ТМА» с космонавтами и четыре «Прогресс-М» с грузами для МКС. В 2012 году Россия прилагала значительные усилия по созданию группировки спутников дистанционного зондирования земли и связи. В 2013 году тенденции должны сохраниться — для России крайне необходимо в ближайшие годы ликвидировать дефицит емкости телекоммуникационных спутников и также важно развернуть конкурентоспособные системы дистанционного зондирования земли.

Великий китайский поход

На втором месте по числу запущенных ракет прочно обосновался Китай. В 2012 году было запущено 19 ракет

Chang Zheng («Великий поход») разных классов. Общее число китайских пусков совпало с цифрой предыдущего года и на четыре пуска больше, чем в 2010 году. Если еще в 2011 году число пусков у США и Китая было равным, в 2011 — у Китая на один больше, то в ушедшем году разрыв достиг четырех запусков. Выход китайских ракетостроителей на второе место в мире по числу пусков — это уже новая реальность. Продолжающийся рост китайской экономики находит свое выражение во всех сферах, в том числе и в космосе. Китай успешно развертывает собственную глобальную навигационную систему «Бэйдоу», запускает спутники связи и дистанционного зондирования земли. Помимо национальных космических аппаратов, китайские ракеты вывели в космос три спутника по коммерческим контрактам. Прагматичный подход к космосу оставляет, тем не менее, место и для продолжения пилотируемой программы. В ближайшие годы можно ожидать, что годовой темп китайских ракетчиков будет оставаться в районе двадцати пусков.

США: коммерческие корабли и ракеты

США второй год подряд занимают третью строчку в рейтинге пусковой активности — 13 стартов (уменьшение по сравнению с 2011 годом на 27%). Американцы, обладая самой мощной группировкой космических аппаратов, занимались ее восполнением и испытаниями новых спутников. Падение числа пусков вызвано, в том числе, выводом из эксплуатации «челноков», совершавших полеты к международной станции. В ближайшие годы на смену системе «Спейс шаттл» должны прийти коммерческие ракеты и корабли,



что приведет к улучшению американской статистики. Начало летных испытаний носителя «Фэлкон-9» и корабля «Дракон» показало, что перспективы у коммерциализации пилотируемой космонавтики имеются и в ближайшие годы на этот рынок должны выйти и другие американские фирмы.

Европа: завершив выстраивание «линейки»

В 2012 году до 10 возросло число запусков, «записанных» за европейской компанией «Арианспейс». В начале года, 13

февраля, запустив с космодрома Куру ракету легкого класса «Вега», европейцы завершили «строительство» собственной «линейки» ракет-носителей: теперь с космодрома Куру стартуют тяжелая «Ариан-5» (7 пусков за год), средний «Союз-СТ» (2 пуска) и легкая «Вега» (1 пуск). Европейцы, построившие свою стратегию на завоевании значительной доли рынка пусковых услуг, расширили возможности коммерческих предложений и могут обеспечить более гибкий подход, выбирая носитель, наиболее

подходящий для спутника. В перспективе это должно привести к увеличению числа запусков с космодрома Куру.

Обеспечивая присутствие

Закрепил свои позиции в ушедшем году на рынке коммерческих запусков и «морской космодром». С плавучей платформы «Одиссей» было выполнено три запуска. Однако для того, чтобы остаться «на плаву» морским ракетчикам необходимо выйти на 4-5 пусков в год, в противном случае концерн так и останется убыточным и над ним вновь нависнет угроза банкротства.

Активность Индии и Японии сохранилась на уровне прошлых лет и в ближайшие годы здесь прорывов не ожидается. Новички «космического клуба» Северная Корея и Иран в течение года прилагали значительные усилия в том, чтобы продвинуться вперед в отработке ракетных технологий и проведении пусков. Обе страны были вознаграждены за это положительными результатами. Для них наиболее сложно предсказать тенденции ближайших лет в ракетостроении, так как и иранская, и северокорейская ракетно-космические программы нуждаются в значительном финансировании и политической поддержке. ■

Примечания

1. В ракетно-космической отрасли «пуск» и «запуск» — это разные понятия. В статье между ними различия не делается.
2. «Аварийным» считается пуск, когда космический аппарат или космическая головная часть на орбиту не выведены либо использование спутника невозможно. «Частично успешным» считается пуск, когда из-за каких-либо отклонений космический аппарат на орбиту выведен, но его использование возможно с ограничениями.
3. Часть экспертов относят пуски ракет «Союз» из Куру и «Зенит» с «Морского старта» к российским. В таблице пуски из Куру отнесены к европейским, а «Морской старт» выделен в отдельную строку без государственной принадлежности.
4. Наименования даны в наиболее распространенном написании.

№ пуска	Дата пуска	Принадлежность	Ракета-носитель	Полезная нагрузка (КА)	Назначение КА	Космодром
1	9 января	Китай	Chang Zheng-4B	Ziyuan-3, VesselSat-2	ДЗЗ	Taiyuan
2	13 января	Китай	Chang Zheng-3A	Fengyun-2F	Метеорология	Xichang
3	19 января	США	Delta-4	Wideband Global SATCOM 4	Связь	Canaveral
4	26 января	Россия	Союз-У	Прогресс М-14М	Грузы на МКС	Байконур
5	3 февраля	Иран	Safir	Navid-e Elm-o Sanat	ДЗЗ	Semnan
6	13 февраля	Европе	Vega	LARES, ALMASat-1, Xatcobeo, Robusta, e-st@r, Goliat, PW-Sat, MaSat-1, UniCubeSat GG	Экспериментальные	Kourou
7	14 февраля	Россия	Протон-М/Бриз-М	SES-4 (NSS-14)	Связь	Байконур
8	24 февраля	Китай	Chang Zheng-3C	Beidou	Навигация	Xichang
9	24 февраля	США	Atlas-5	MUOS-1	Связь	Canaveral
10	23 марта	Европа	Ariane-5	ATV-3	Грузы на МКС	Kourou
11	25 марта	Россия	Протон-М/Бриз-М	Intelsat 22	Связь	Байконур
12	30 марта	Россия	Протон-К/ДМ2	Космос-2479 (Око)	ДЗЗ	Байконур
13	31 марта	Китай	Chang Zheng-3B/E	Apstar-7	Связь	Xichang
14	3 апреля	США	Delta-4 Medium	NROL-25	Военная разведка	Vandenberg
15	13 апреля	Сев.Корея	Unha-3, аварийный	Kwangmyongsong-3	ДЗЗ	Sohaе
16	20 апреля	Россия	Союз-У	Прогресс М-15М	Грузы на МКС	Байконур
17	24 апреля	Россия	Протон-М/Бриз-М	YahSat 1B	Связь	Байконур
18	26 апреля	Индия	PSLV XL	RISAT 1	ДЗЗ	Sriharikota
19	29 апреля	Китай	Chang Zheng-3B/E	Beidou-2 M3, Beidou-2 M4	Навигация	Xichang
20	3 мая	США	Atlas-5	AEHF-2	Связь	Canaveral
21	6 мая	Китай	Chang Zheng-2D	Tianhui I-02	ДЗЗ	Jiuquan
22	10 мая	Китай	Chang Zheng-4B	Yaogan-14, Tiantuo-1	ДЗЗ, наука	Taiyuan
23	15 мая	Россия	Союз-ФГ	Союз ТМА-04М	Пилотируемый на МКС	Байконур
24	15 мая	Европа	Ariane-5	JCSAT 13, VINASAT 2	Связь	Kourou
25	17 мая	Россия	Союз-У	Космос-2480 (Кобальт)	ДЗЗ	Плесецк
26	17 мая	Россия	Протон-М/Бриз-М	Nimiq-6	Связь	Байконур
27	18 мая	Япония	H-IIA	SHIZUKU (GCOM-W1), KOMPSAT-3, SDS-4, HORYU-2	ДЗЗ	Tanegashima

28	22 мая	США	Falcon-9	Dragon	Грузы на МКС, ЛИ	Canaveral
29	26 мая	Китай	Chang Zheng-3B/E	Zhongxing-2A	Связь	Xichang
30	29 мая	Китай	Chang Zheng-4C	Yaogan-15	ДЗЗ	Taiyuan
31	1 июня	Sea Launch	Zenit-3SL	Intelsat-19	Связь	Sea Launch
32	13 июня	США	Pegasus-XL/L-1011	NuSTAR	Наука/астрономия	Kwajalein
33	16 июня	Китай	Chang Zheng-2F/G	Shenzhou-9	Пилотируемый	Jiuquan
34	20 июня	США	Atlas-5	NRO L-38	Военная разведка	Canaveral
35	29 июня	США	Delta-4-Heavy	NRO L-15	Военная разведка	Canaveral
36	5 июля	Европа	Ariane-5	EchoStar-17, MSG-3	Связь, метеорология	Kourou
37	9 июля	Россия	Протон-М/Бриз-М	SES-5	Связь	Байконур
38	15 июля	Россия	Союз-ФГ	Союз ТМА-05М	Пилотируемый на МКС	Байконур
39	21 июля	Япония	H2B	HTV-3	Грузы на МКС	Tanegashima
40	22 июля	Россия	Союз-ФГ	Канопус-В, БКА, МКА-Ф, exactView-1, TET-1	ДЗЗ наука	Байконур
41	25 июля	Китай	Chang Zheng-3C	Tianlian-1 (3)	Связь	Xichang
42	28 июля	Россия	Рокот/Бриз-КМ	Гонец №13, Гонец №14, Юбилейный (МиР), Стрела-3	Связь, ДЗЗ	Плесецк
43	1 августа	Россия	Союз-У	Прогресс М-16М	Грузы на МКС	Байконур
44	2 августа	Европа	Ariane-5	Intelsat-20, HYLAS-2	Связь	Kourou
45	6 августа	Россия	Протон-М/Бриз-М, аварийный	Telkom-3, Экспресс МД-2	Связь	Байконур
46	19 августа	Sea Launch	Zenit-3SL	Intelsat-21	Связь	Sea Launch
47	30 августа	США	Atlas-5	Radiation Belt Storm Probe-1, Radiation Belt Storm Probe-2	Наука	Canaveral
48	9 сентября	Индия	PSLV-CA	Spot-6, Proiteres, mRESINS	ДЗЗ	Sriharikota
49	13 сентября	США	Atlas-5	NRO L-36 (NOSS-3 6A, NOSS-3 6B), Aeneas, SMDC-ONE 2.1 (Able), SMDC-ONE 2.2 (Baker), Re, CINEMA 1, CSSWE, CXBN, AeroCube 4A, AeroCube 4B, AeroCube 4C, CP 5	Военная разведка (морской?) Экспериментальные	Vandenberg
50	17 сентября	Россия	Союз-2.1А	MetOp-B	Метеорология	Байконур

51	18 сентября	Китай	Chang Zheng-3B/E	Compass-M5, Compass-M6	Навигация	Xichang
52	28 сентября	Европа	Ariane-5	Astra-2F, GSAT-10	Связь	Kourou
53	29 сентября	Китай	Chang Zheng-2D	VRSS-1	ДЗЗ	Jiuquan
54	4 октября	США	Delta-4-Medium	GPS Block IIF	Навигация	Canaveral
55	7 октября	США	Falcon-9 частично успешный	Dragon CRS1, Orbcomm 2G-1	Грузы на МКС, ЛИ Связь	Canaveral
56	12 октября	Европа	Союз-ST/Фрегат	IOV-2 FM3, IOV-2 FM4	Навигация	Kourou
57	14 октября	Китай	Chang Zheng-2C	Shijian 9A, Shijian 9B	Эксперимен- тальные	Taiyuan
58	14 октября	Россия	Протон-М/ Бриз-М	Intelsat 23	Связь	Байконур
59	23 октября	Россия	Союз-ФГ	Союз ТМА-06М	Пилотируемый на МКС	Байконур
60	25 октября	Китай	Chang Zheng-3C	Beidou-16	Навигация	Xichang
61	31 октября	Россия	Союз-У	Прогресс М-17М	Грузы на МКС	Байконур
62	3 ноября	Россия	Протон-М/ Бриз-М	Луч-5Б, Ямал-300К	Связь	Байконур
63	10 ноября	Европа	Ariane-5	Eutelsat 21B, Star One C3	Связь	Kourou
64	14 ноября	Россия	Союз-2-1.A/ Фрегат	Меридиан	Военная связь	Плесецк
65	18 ноября	Китай	Chang Zheng-2C	Huanjing-1C, Xinyan-1, Fengniao- 1A/B	ДЗЗ, Техноло- гические	Taiyuan
66	20 ноября	Россия	Протон-М/ Бриз-М	EchoStar-16	Связь	Байконур
67	25 ноября	Китай	Chang Zheng-4C	Yaogan Weixing-16A, Yaogan Weixing-16B, Yaogan Weixing-16C	ДЗЗ	Jiuquan
68	27 ноября	Китай	Chang Zheng-3B/E	Zhongxing-12	Связь	Xichang
69	1 декабря	Европа	Союз-ST	Pléiades-1B	ДЗЗ	Kourou
70	3 декабря	Sea Launch	Zenit-3SL	Eutelsat-70B	Связь	Sea Launch
71	8 декабря	Россия	Протон-М/ Бриз-М, частично успешный	Ямал-402	Связь	Байконур
72	11 декабря	Сев. Корея	Unha-3	Kwangmyongsong-3 No. 2	ДЗЗ	Sohaе
73	11 декабря	США	Atlas-5	X-37B (OTV-3)	Военный (перехватчик?)	Canaveral
74	18 декабря	Китай	Chang Zheng-2D	Göktürk-2	ДЗЗ	Jiuquan
75	19 декабря	Россия	Союз-ФГ	Союз ТМА-07М	Пилотируемый на МКС	Байконур
76	19 декабря	Европа	Ariane-5	Skynet-5D, Mexsat-3	Связь	Kourou

Гонки на орбите

Олег ТВЕРСКОЙ
космодром Байконур



Второй европейский производитель — Alcatel Alenia Space — изготовил пять спутников связи (нужно отметить, что Alcatel занимается производством спутников второго поколения системы «Глобалстар», но в 2012-м году пусков не было).

Около половины всех космических аппаратов в мире производят американские фирмы. Четыре американских фирмы «Лорал» (Space Systems/Loral), «Боинг» (Boeing Satellite Systems), «Локхид-Мартин» (Lockheed Martin), «Орбитал» (Orbital Sciences Corporation) изготовили 25 «больших» и «средних» спутников. Loral произвел семь телекоммуникационных спутников, занявших свои места на геостационарной орбите. Сотрудниками Boeing изготовлено шесть космических аппаратов, помимо спутников связи — навигационный для системы GPS (Navstar), экспериментальный орбитальный самолет Boeing X-37. Lockheed Martin и Orbital создали соответственно 6 и 4 спутников. Изготовитель двух космических аппаратов, стартовавших в США — NRO L-38 и NRO L-15 — неизвестен. Эти спутники были построены по заказу ВВС США и предназначены для ведения разведки.

Новичок среди американских спутникостроителей — компания «Спейс-Икс» (SpaceX) в 2012 году выполнила два пуска собственных ракет «Фалкон» (Falcon) с кораблями «Дракон» (Dragon), выполнивших успешные миссии к международной космической станции (МКС).

В предыдущей статье были подведены итоги пусков за 2012 год. Ракетостроение — серьезная отрасль промышленности, производить собственные ракеты может малое число государств. Услуги по выведению космических аппаратов на орбиту приносят фирмам — владельцам ракет \$4 — 5 млрд.

Гораздо больше дает производство спутников — \$ 12 — 15 млрд. в год. Если посмотреть на итоги года под этим углом, то в лидерах мы увидим предприятия тех же стран, что и оказывающих пусковые услуги, но распределение мест между лидерами окажется существенно иным.

Создатели «тяжелых» спутников

Космические аппараты принято делить на несколько групп по их массе, ниже речь пойдет о «тяжелых» (массой более 1000 килограммов) и «средних» (500 — 1000 килограммов) спутниках.

Так, в 2012 году на орбиту было выведено 10 «тяжелых» и «средних» спутников, построенных европейской EADS Astrium. Среди них несколько геостационарных спутников связи, метеорологический MetOp-B, два навигационных «Галилео», спутник дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) Spot-6 и корабль с грузами для международной космической станции ATV-3.

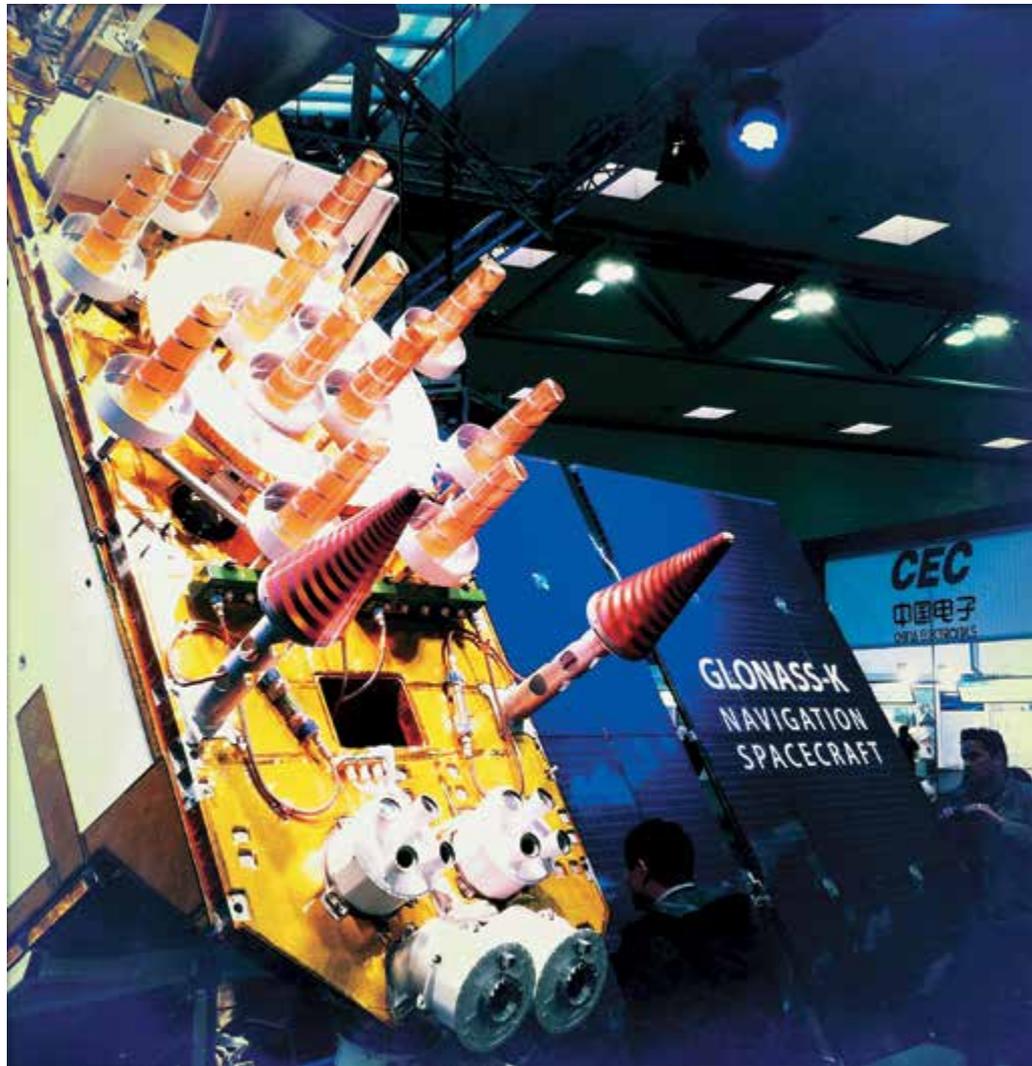
Китайские производители спутников, работающие в Китайской корпорации космической науки и техники CASC, произвели полтора десятка «тяжелых» и «средних» спутников. Китай настойчиво развивает все направления космонавтики, помимо традиционных спутников связи, китайцы запустили несколько «спутников» для навигационной системы «Бэйдоу» (Beidou, Compass), один пилотируемый Shenzhou-9, космические аппараты ДЗЗ и метеорологии.

Российская ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П.Королева (РКК «Энергия») изготовила восемь космических кораблей — четыре «Союза ТМА» и четыре «Прогресса», которыми доставлялись космонавты и грузы на МКС.

Лидер российского связного спутникостроения «Решетнев» (ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф.Решетнева») построил в 2012 году пять спутников связи. Необходимо также отметить, что ОАО ИСС является изготовителем спутников системы ГЛОНАСС, восстановление группировки которых активно велось в предыдущие годы, пуски будут продолжены и в дальнейшем, но в 2012 году пусков не было.

НПО ВНИИМ в 2012 году изготовило два спутника ДЗЗ — «Канопус-В» и БКА (Белорусский космический аппарат). Премьера прошла успешно, космические аппараты передают информацию, планируется пополнение развитие группировки. Их масса несколько меньше «средней», но примененные новые технологии позволили добиться высокого качества съемки, так что отнесение к этой группе вполне закономерно.

Знаменитое самарское «ЦСКБ-Прогресс», помимо





производства ракет «Союз» изготавливает также спутники дистанционного зондирования земли и для научных исследований. В 2012 году на орбиту отправился самарский «Космос-2480». Эксперты считают этот космический аппарат спутником высокодетальной съемки с разрешением в 30 сантиметров.

Предназначением еще одного «Космоса» с порядковым номером 2479, изготовленного «Лавочкиным» (НПО имени С.А.Лавочкина), считается предупреждение о ракетном нападении.

Индийские спутникостроители в 2012 году «отметились» космическим аппаратом ДЗЗ RISAT 1 и связным GSAT-10. Япония запустила в 2012 году только один тяжелый спутник — грузовой корабль НТВ-3 для обслуживания МКС. Необходимо отметить успех турецкой космической промышленно-

сти, построившей в 2012 году по заказу Минобороны страны спутник Göktürk-2. Хотя этот космический аппарат и не дотягивает до 500 килограммов, чтобы попасть в разряд средних, по решаемым задачам он под эту категорию подходит вполне.

Битва за «стационар»

Помимо принятой классификации по массе, эксперты обычно выделяют в отдельную группу коммерческие геостационарные спутники связи и вещания. Это один из наиболее коммерчески привлекательных видов космической деятельности. За период с 2001 по 2011 год на геостационар было запущено 216 космических аппаратов связи и вещания. Последние годы на геостационарную орбиту отправляется по два десятка космических аппаратов ежегодно. Аналитики предсказывали большой темп пусков, но новые технологии позволили резко повысить пропуск-

ную способность космических аппаратов и срок их жизни на орбите, это и привело к снижению потребностей «в штуках». Еще одной тенденцией геостационарных космических аппаратов является постепенное увеличение их массы.

За каждый предстоящий контракт на производство спутников идет конкурентная борьба. За последние 5 лет наибольшее число заказов на геостационарные спутники у Space Systems/Loral, в портфеле которой три десятка контрактов. Второе место у EADS Astrium (два с половиной десятка), на третьем месте — Orbital Sciences Corporation, которая получила около двух десятков заказов. На четвертом месте российское ОАО ИСС имени Решетнева с одиннадцатью заказами.

За последние годы несколько утратила свои рыночные позиции на геостационарном рынке Lockheed Martin, а Boeing, который в конце прошлого века занимал ведущие позиции в поставках геостационарных космических аппаратов, после серии отказов своих спутников на рубеже веков практически ушел с рынка, освободив его, в первую очередь, для европейцев.

Прогресс «малых»

Совсем недавно спутники массой от 500 килограммов до тонны называли «малыми». Сейчас к ним все чаще применяется название «средние». «Миниспутниками» называются аппараты массой от 100 до 500 килограммов, соответственно к «микро-» и «наноспутникам» относят космические аппараты массой 10 — 100 килограммов и от 1 до 10 килограммов. «Сателлиты» массой менее 1 килограмма классифицируют как «пикоспутники». Естественно, такая классификация не очень корректна — по энерговооруженности, оснащению транспонде-

рами (стволами ретрансляции) даже близкие по весу спутники могут различаться существенно. Тем более что на малые спутники возлагаются в настоящее время большие задачи.

Миниатюризация и компьютеризация, разработка новых технологий при производстве спутников перевели в разряд «серьезных» не только миниспутники, но и наноспутники. Все ведущие космические государства используют их для отработки новых технологий, приборов и материалов, которые потом внедряются на тяжелых космических аппаратах. Все чаще небольшие спутники берут на себя задачи связи и ДЗЗ и постепенно завоевывают низкую околоземную орбиту. «Умные малыши» отличаются тем, что их можно достаточно быстро изготовить и недорого запустить в космос. Естественно и внимание военных к таким спутникам: им по плечу не только мирные задачи, но и, например, инспектирование чужих космических аппаратов (что по возможности неотличимо от перехвата).

Малые спутники идеально подходят для государств, которые создают свою космическую промышленность — постепенное развитие проекта позволяет создать производство, обучить персонал и конструкторов, отработать технологии. И все это за относительно небольшие деньги. Немаловажно и то, что за разработчиками малых спутников сохраняется «право на ошибку»: в случае отказа космического аппарата на орбите потери будут не очень большими. При создании «больших» космических аппаратов у создателей такого права нет: пример «Боинга» в это отношении очень красноречив. Другой яркий пример космонавтика получила при эксплуатации системы «Глобалстар». На рубеже веков система была



введена в эксплуатацию, но в 2007 году выявились проблемы с функционированием усилителя S-диапазона. Чтобы парировать эту проблему пришлось принимать комплекс дорогостоящих мер, в том числе выводить на орбиту еще восемь спутников. Проблемы возникли и при развертывании группировки второго поколения в 2011 — 2012 годах, что привело к переносам пусков и доработкам космических аппаратов, еще находившихся на земле. Если бы технологии были вначале отработаны на малых космических аппаратах, а потом внедрялись на «Глобалстары», возможность возникновения подобной ситуации была бы гораздо меньше.

Россия наращивает темп

Сейчас российская орбитальная группировка насчитывает более сотни спутников: связи, навигации, модули МКС, ДЗЗ и метеорологии, научные.

Помимо традиционной пилотируемой космонавтики (производитель кораблей — РКК «Энергия»), где Россия пока является безоговорочным лидером, в последнее десятилетие усилия правительства России были сосредоточены на восстановлении глобальной навигационной системы ГЛОНАСС. Чтобы восполнить и нарастить систему, «Решетнев» производил не меньше чем 6 космических аппаратов в год, на ближайшее десятилетие потребуется еще не менее двух десятков космических навигационных аппаратов. Примерно на такое же количество заказов может рассчитывать ОАО ИСС в сегменте спутников связи — российские операторы «Космическая связь» и «Газпром космические системы», Министерство обороны России заказывают спутники связи в основном «решетневцам».

Роскосмос обозначил еще одну составляющую как при-



оритетную — дистанционное зондирование земли. Производство спутников оптического наблюдения сосредоточено в самарском «ЦСКБ-Прогресс», а недавно это предприятие выиграло конкурс на создание спутника радиолокационного наблюдения. Для обеспечения потребностей России в данных ДЗЗ необходимо как минимум десяток спутников, работающих в разных диапазонах и до 2020 года можно ожидать ежегодного запуска одного-двух космических аппаратов.

В России сохраняется сектор научных космических аппаратов, недавно успешно был реализован космический проект «Радиоастрон». Возможный темп запусков новых научных спутников — 2 – 3 единицы в год.

Правительство поставило перед Роскосмосом задачу к 2020 году довести численность российских спутников в космосе до двухсот. В принципе, эта задача вполне реальна. Главная проблема российских спутникостроителей: отсутствие отечественной микроэлектроники. Это вынуждает закупать электронные компоненты за рубежом, а для многих космических аппаратов речь идет не просто о «компонентах»: практически все спутники связи имеют блок полезной нагрузки импортного производства. Пока не видно, чтобы ситуация с производством электронных компонентов в России менялась в лучшую сторону. Такая зависимость от высокотехнологичного импорта делает российскую кос-

мическую промышленность крайне уязвимой.

Перспективы для Казахстана

Войти в престижный клуб создателей спутников мечтает и Казахстан. Для этого строится монтажно-испытательный корпус и заключен договор с французами на создание спутников ДЗЗ. Несомненно, что корпус будет построен и строительство спутников начнется. Проблемы могут возникнуть при реализации космических снимков и при попытке перехода к казахстанским комплектующим в космических аппаратах. В любом случае, лет через пять станет ясно, насколько правильная стратегия была заложена космическим руководством Казахстана для создания собственного спутникостроения... ■

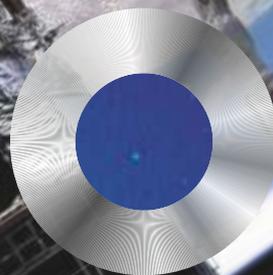


«Зенит» — надежда космодрома Байконур

cosmos.kz

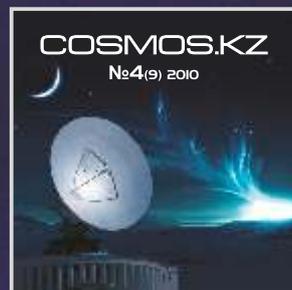
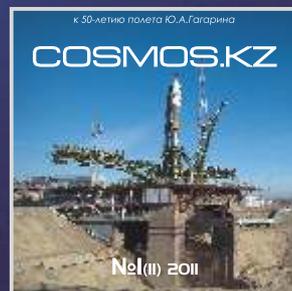
The first TV program
on space technologies
in Kazakhstan

COSMOS.KZ



№1(6)

© Space Energy 2011



www.cosmos.kz