

Авиационная и ракетно-космическая техника

УДК 629.786.2

doi: 10.18698/0536-1044-2021-9-86-96

Новые подходы к проектированию лунной станции для обслуживания автоматических и пилотируемых космических аппаратов

О.А. Сапрыкин

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

New Approaches to the Design of a Lunar Station for Servicing Automatic and Manned Spacecraft

O.A. Saprykin

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences

Рассмотрена задача создания орбитальной лунной станции (ОЛС) на круговой низкой орбите высотой 100...150 км. Показано, что эту задачу надо рассматривать не как соотношение преимуществ и недостатков существования ОЛС, а как разработку конкретного проектного решения — в методическом подходе проектирования. При этом необходимо учитывать стратегическое значение ОЛС для всего процесса освоения Луны. ОЛС следует создавать не только для осуществления пилотируемых экспедиций, но и для реализации программ автоматических космических аппаратов. Описаны методы проектирования космических станций «от возможностей» и «от задач». Приведены примеры применения этих методов, указаны их недостатки, одним из которых является отсутствие учета изменения задач проектирования. Предложен метод проектирования, учитывающий динамику изменения задач проектируемого объекта (в частности, задач, возникающих при освоении Луны). Приведено укрупненное описание метода, где отправной позицией служит множество различных сценариев проектирования объекта, в том числе ОЛС. На базе предложенного метода проведено предварительное проектирование ОЛС. Изложены основные результаты проектирования. Отмечено, что проектирование ОЛС определяет проектирование ее модулей. Обоснована разработка нескольких типовых (серийных) космических модулей, предназначенных для выполнения основных функций в космическом полете. Сочетание таких модулей в рамках открытой архитектуры позволяет станции оперативно адаптироваться к выполнению новых задач и функционировать неограниченно долго (теоретически — без ограничения времени).

Ключевые слова: окологрунтовая станция, метод проектирования, открытая архитектура, типовая миссия, актуальный сценарий, совокупная научная эффективность

The purpose of the study was to tackle the problem of creating an orbiting lunar station in a circular low orbit with an altitude of 100...150 km. The study shows that this task should be considered not as the advantage-disadvantage ratio but as the development of a specific de-

sign solution — in a methodological design approach. Meanwhile, it is necessary to take into account the strategic importance of the orbiting lunar station for the entire process of the exploration of the Moon. The station should be created not only for manned expeditions but also for automatic spacecraft. The paper describes the methodological approaches to the design of space stations, namely the design methods which imply opportunities and tasks identification, gives examples of applying these methods, points out their shortcomings, including the lack of accounting for changes in design problems. As a result of studying the problem, we propose a design method that takes into account the dynamics of changing the tasks of the designed object, i.e. the tasks that arise during the Moon exploration. The study gives an enlarged description of the method, where the starting point is many different scenarios for the design of an object, i.e. the orbiting lunar station. Relying on the proposed method, we preliminarily designed the station and found that its design determines the design of its modules. The study substantiates the development of several standard (serial) space modules designed to perform basic functions in space flight. The combination of such modules within the framework of an open architecture allows the station to quickly adapt to new tasks and operate for an unlimited time — theoretically, without a time limit.

Keywords: lunar station, design method, open architecture, typical mission, actual scenario, cumulative scientific efficiency

В настоящее время специалисты космической промышленности России и других космических держав достаточно широко обсуждают задачу освоения Луны [1–4]. Одним из средств назначения является окололунная космическая станция. Идея создания такой станции обсуждалась в рамках работы как минимум двух международных групп — International Space Exploration Coordination Group [5] и International Station Work Group. В результате появился проект International Orbital Platform-Gateway (IOP-G), отчасти раскрывающий идею освоения и Луны, и околоземного пространства за ее пределами.

Чаще всего обсуждения специалистов сводятся к проектам средств доставки: средств выведения, транспортных кораблей, отдельных посадочных платформ [6], лунных взлетно-посадочных комплексов [7] и роверов. Что касается инструментария освоения, к которым принадлежат и орбитальные станции, то здесь проекты пока либо не представлены вовсе, либо выглядят схематично. При этом методы проектирования космических объектов, за исключением немногих примеров [8, 9], не раскрываются, хотя эти вопросы являются наиболее сложными как с практической, так и с научной точки зрения.

Рассмотрим некоторую альтернативу — задачу создания «открытой» орбитальной лунной станции (ОЛС) на круговой низкой орбите вокруг Луны высотой 100...150 км. Это, по мнению автора, ключевой элемент окололунной космической инфраструктуры, непосредственно используемый для полетов на поверхность

Луны и автоматических космических аппаратов (КА), и пилотируемых КА.

Назначение окололунной станции. Для чего нужна окололунная станция? Этот вопрос стоит достаточно остро, что можно объяснить следующими причинами:

- вопрос назначения орбитальных станций на сегодня открыт и в отношении околоземного пространства — относительно станций на низких околоземных орбитах; до настоящего времени надежные заказчики услуг на борту околоземных орбитальных станций, окупающие их эксплуатацию, де факто не появились ни в среде государственных, ни в среде частных структур;

- логистическая поддержка станции около Луны на порядок более дорогостояща, чем для низкой околоземной станции: при доставке одной и той же массы груза требуется средство выведения более тяжелого класса; кроме того, нужен разгонный блок или буксир — довольно дорогостоящее изделие;

- с точки зрения полетов на поверхность Луны необходимость стыковки посадочного средства с неким промежуточным объектом (с ОЛС) выглядит как дополнительная цепочка технически непростых операций, увеличивающих массу необходимого топлива, конструкции, номенклатуры бортовых систем и вероятность отказов (ненадежность миссии в целом);

- доставка модулей ОЛС — весьма дорогостоящая задача;

- стыковка с ОЛС (особенно автоматических аппаратов без непосредственного присутствия

оператора) является сложной технической задачей;

- человек на борту ОЛС подвергается на порядок более высокому радиационному воздействию, чем на низкой околоземной орбите.

- модернизация, переоснащение и ремонт в условиях ОЛС проблематичны.

Приведенные утверждения можно позиционировать как аргументы «против» ОЛС.

К аргументам «за» ОЛС, относятся:

- масса лунного взлетно-посадочного комплекса может быть существенно (в разы) сокращена за счет того, что часть комплекса, отвечающая за его возвращение к Земле, может быть оставлена на окололунной орбите — временно войти в состав ОЛС и обеспечиваться его ресурсами (электричеством, связью, запасами, сбросом избыточного тепла и др.);

- ОЛС можно использовать как средство сопровождения миссий на поверхность Луны, т. е. обеспечивать ретрансляцию радиолиний канала Земля — Луна, дистанционно управлять работой робототехнических средств со стороны операторов на борту ОЛС;

- ОЛС способна работать как средство дистанционного зондирования Луны, т. е. как периодически переоснащаемая научная платформа такого зондирования, обеспечивающая изучение Луны в глобальном масштабе и, следовательно, планирование будущих миссий;

- ОЛС можно использовать как логистический узел, на котором может храниться топливо для предстоящих миссий, расходные запасы средств жизнеобеспечения для пилотируемых миссий, запасные части, инструменты и принадлежности ключевых элементов [10, 11]; это может существенно снизить уровень требований к системам выведения и межорбитальной транспортировки, например, позволит отказаться от применения в ряде миссий ракетносителей сверхтяжелого класса или уменьшить их грузоподъемность;

- ОЛС может быть применена для организации системы безопасности полетов на Луну (для хранения резервных кораблей возвращения, лунных взлетно-посадочных комплексов и т. д.);

- ОЛС можно использовать для организации «смешанных» миссий на Луну, сочетающих работу как автоматических, так и пилотируемых средств [11, 12];

- ОЛС способна обеспечить многоразовую эксплуатацию ряда КА, в частности, автоматических взлетно-посадочных комплексов [10–13].

Ответ на вопрос о целесообразности создания ОЛС состоит не в анализе соотношения количества тех или иных аргументов «за» или «против» (в постановке «чего больше?»). Ответ, скорее всего, кроется в логике проектирования окололунной станции.

Существующие концепции окололунных станций. Метод проектирования «от возможностей» и метод проектирования «от задач». Как следует из некоторых публикаций [14, 15], окололунная станция понимается только в контексте пилотируемых миссий.

В российской версии ОЛС разработки РКК «Энергия» (рис. 1) [14] помимо кораблей присутствует базовый блок, создаваемый как версия уже известного научно-энергетического модуля (для околоземной российской станции) в сочетании с двигательным отсеком корабля «Орел», а также узловой модуль (для российского сегмента Международной космической станции и для околоземной российской станции).

Окололунная станция в версии РКК «Энергия» обеспечивает: стыковку, функционирование пилотируемого транспортного корабля и лунного (пилотируемого) взлетно-посадочного комплекса на окололунной орбите; снятие ограничений для доступа на поверхность Луны; экспедиции на поверхность Луны продолжительностью более трех суток; возможность



Рис. 1. Проект окололунной станции в версии РКК «Энергия»:

1 — лунный взлетно-посадочный комплекс; 2 — базовый модуль окололунной станции; 3 — пилотируемый транспортный корабль; 4 — стыковочные узлы для интеграции международного сегмента и стыковки кораблей снабжения

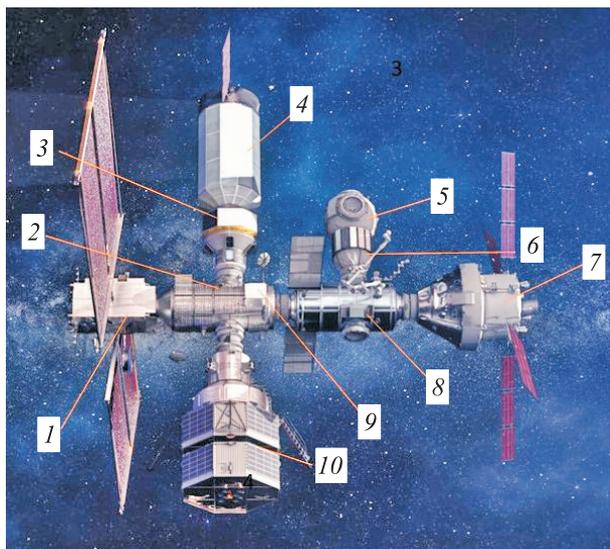


Рис. 2. Международный проект IOP-G:
 1 — энергодвигательный модуль (ПРЕ); 2 — жилой и логистический модуль; 3 — заправщик; 4 — корабль снабжения; 5 — шлюзовой модуль для экипажа; 6 — робототехника; 7 — Орион; 8 — международный обитаемый модуль; 9 — система связи; 10 — пилотируемая посадочная система

перехода к многоразовым средствам; отработку технологий Дальнего космоса.

Элементы околоземной станции в минимальном составе приспособлены как элементы окололунной станции (наглядный пример проектирования от возможностей, т. е. от уже достигнутого (на сегодня возможного) уровня научно-технологического задела. Назовем такой подход методом проектирования «от возможностей».

В зарубежной версии ОЛС — IOP-G [15] (рис. 2) — проектных новшеств несколько больше, так как в ее разработке почти 10 лет участвовали ведущие космические страны — участники проекта Международной космической станции.

Проект IOP-G обеспечивает практически полный перечень перечисленных задач ОЛС и, кроме того, — отработку межпланетных полетов продолжительностью более одного года. Это наглядный пример проектирования «от задач», когда технические решения определяются перечнем поставленных к космическому объекту задач. Назовем такой подход к проектированию методом «от задач».

Это метод, безусловно, более затратный, так как приходится в рамках поиска решений новых задач создавать новый научно-технологический задел. Для этого такие космические агентства, как NASA и ESA, широко используют

международную кооперацию: проект декомпозируют на части, которые распределяют между различными космическими агентствами.

Облик российской или российско-китайской станции [16] около Луны пока не определен. Более того, не ясно, планирует ли Россия одна или совместно с Китаем создавать орбитальную лунную станцию (в основном, речь идет о посещаемой научной базе на поверхности Луны). Видимо, этот вопрос является сегодня предметом анализа.

Новые методические подходы к проектированию ОЛС. Предлагаемый подход проектирования включает в себя следующие проектные работы.

1. Разработка типовых сценариев (ТС) миссий к Луне (автоматических, пилотируемых и смешанных), в том числе с участием ОЛС.

2. Проведение проектно-баллистического анализа ТС. Исходными данными являются массы научной аппаратуры, груза или обитаемого модуля, доставляемые на поверхность Луны и на Землю. Определение общих технических требований к элементам в ТС, т. е. к космическим средствам (включая средства выведения и межорбитальной транспортировки).

Требования к ОЛС на этом этапе рассматривают только на уровне обеспечивающих функций, количественные оценки для станции не проводят. Технические характеристики включают в себя общие (или сухие) массы КА, тип двигательных установок и топлива, удельную тягу двигателей и массы используемого топлива. При этом часть технических характеристик может быть взята за основу из аналогов (существующих в текущее время аппаратов, кораблей, средств выведения, разгонных блоков).

3. Оценка трудоемкости (или условных экономических затрат) реализации типовых сценариев $T_{ТС}$. Трудоемкость создания и эксплуатации ОЛС не принимают во внимание — эти издержки следует учитывать на уровне программы, а не отдельной миссии.

4. Оценка совокупной научной эффективности ТС $СНЭ_{ТС}$ по методике, приведенной в работе [17].

5. Определение соотношения удельной эффективности ТС по формуле

$$E_{УС} = СНЭ_{ТС} / T_{ТС}.$$

6. Среди разработанных ТС отбираются те (так называемые актуальные сценарии — АС),

для которых значения $E_{ус}$ максимальны. При этом формируется множество АС, т. е. тех сценариев, для которых при минимальных затратах реализуются максимальные научные результаты:

$$\max\{E_{тс}\} \rightarrow \{АС\}.$$

При формировании множества $\{АС\}$ подразумевается, что оно будет использовано для создания основных требований к космическим элементам инфраструктуры, в частности, к ОЛС. Это не исключает применения (рассмотрения в дальнейшем) и других сценариев, невошедших во множество $\{АС\}$.

7. Детализация требований к ОЛС, определяемых множеством актуальных сценариев $\{АС\}$. Эта детализация логически вытекает из функций, выполняемых ОЛС в рамках этих АС. При этом ОЛС рассматривают не как законченное изделие, обеспечивающее эти функции, а как узел, интегрирующий во времени и в пространстве ту или иную функцию по мере ее необходимости.

8. Формирование шкалы готовности всех космических элементов инфраструктуры (далее ШГЭ), участвующих в АС. Это, по сути, временной график готовности вновь разрабатываемых кораблей, средств выведения, межорбитальных буксиров, космических аппаратов и т. д. На основании этой шкалы формируют шкалу готовности реализации тех или иных АС (далее ШГС). Готовность элементов ОЛС не учитывают, так как ее облик и декомпозиция на модули пока не сформированы.

9. Построение на основании анализа ШГЭ и ШГС шкалы необходимой готовности функций, обеспечиваемых ОЛС (далее ШГФ). ШГФ определяет последовательность сборки ОЛС. Особенность применения ШГФ состоит в том, что раннее обеспечение готовности функции на борту ОЛС, когда она опережает соответствующие ограничения со стороны ШГЭ и ШГС, не приветствуется. Дело в том, что обеспечение любой функции на борту связано с издержками: перерасходом средств на разработку и создание конкретных модулей ОЛС, а также на эксплуатационные расходы в процессе полета ОЛС.

10. Формирование на основании ШГФ логики наращивания ОЛС соответствующими функциональными модулями, что в конечном итоге определяет и программу развертывания станции, и облик отдельных функциональных модулей.

11. Проведение технико-экономического анализа создания ОЛС, результаты которого используются при формировании долгосрочной программы полета ОЛС (уже с учетом бюджетных ограничений) с уточнением сроков развертывания ОЛС на орбите.

Предложенный методический подход отражает системное проектирование ОЛС, т. е. проектирование не отдельного космического объекта, а взаимосвязанной и взаимодействующей космической системы. При этом ОЛС представляет собой незаконченное изделие, на которое надо выпускать техническое задание с рядом требований. Это развивающееся во времени изделие с изменяющимися в зависимости от актуальности тех или иных задач функциями [18], что отличает его от других предложений [19].

Некоторые результаты проектирования окололунной станции с открытой архитектурой как пример применения нового метода. Рассмотрим результаты исследования, выполненные в соответствии с описанной методикой. Отправным пунктом проектирования является разработка сценариев типовых миссий. Разработан двадцать один сценарий [20]. Согласно методике, определены АС, для которых при минимальных затратах реализованы максимальные научные результаты. Пример такого сценария приведен на рис. 3.

Сценарии охватывают различные стадии освоения: полеты на Луну только автоматических КА, полеты на Луну автоматических КА с присутствием человека на ОЛС, полеты на Луну человека без использования посещаемой базы на поверхности и пилотируемые полеты на Луну с использованием лунной базы на поверхности. Эти стадии охватывают не менее 50 лет будущего освоения Луны.

При проведении анализа принято, что ОЛС базируется на круговой полярной орбите высотой 100...200 км. В результате применения предложенного методического подхода разработана следующая концепция ОЛС.

На начальном этапе предполагается использовать ОЛС только для обеспечения миссий автоматических КА, поэтому в состав ОЛС будут входить элементы, показанные на рис. 4, некоторые характеристики (№ 1–5) которых приведены в таблице. На этапе пилотируемых миссий в состав ОЛС могут быть введены дополнительные элементы № 6–12.

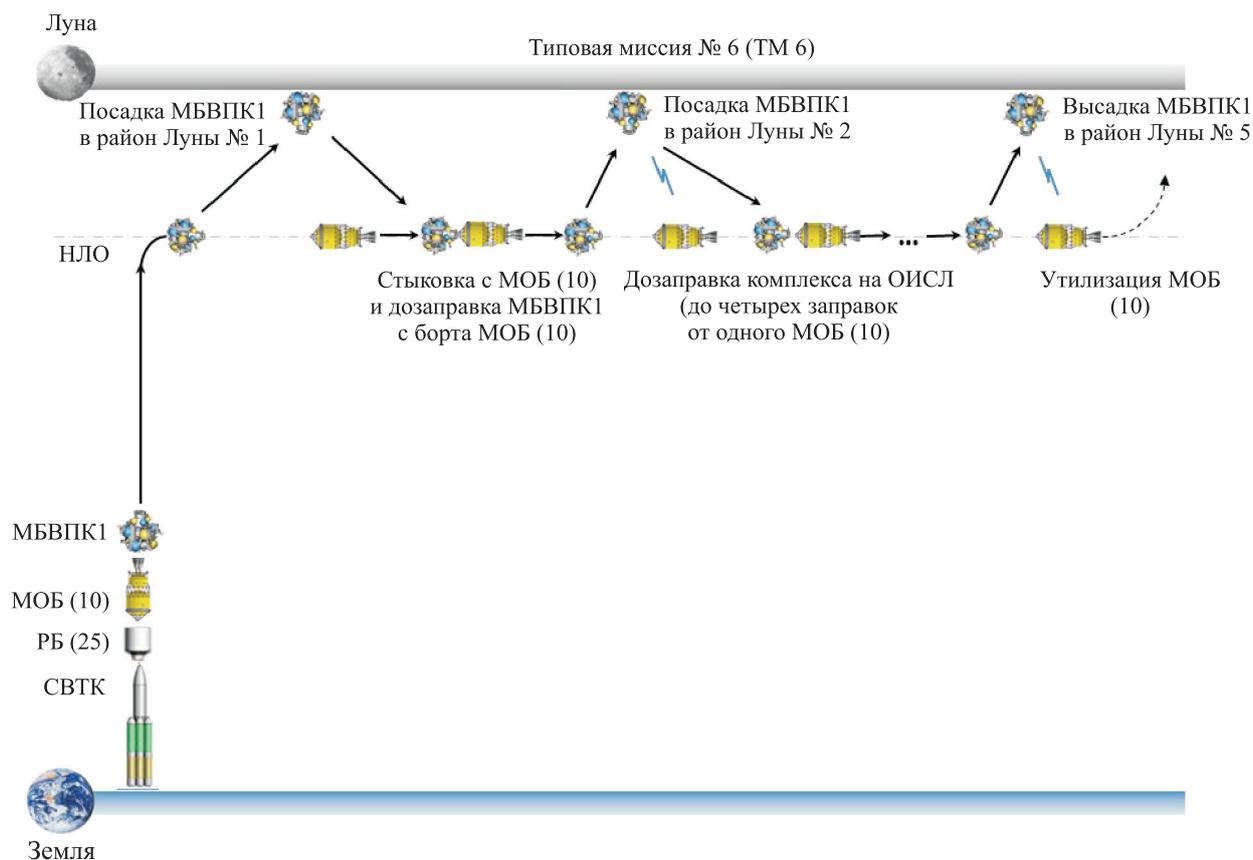


Рис. 3. Сценарий с использованием многоцелевого беспилотного комплекса легкого класса с дозаправкой на орбите Луны (корабли изображены не в масштабе):

НЛО — низкая окололунная орбита; МБВПК1 — многоцелевой беспилотный взлетно-посадочный комплекс № 1; МОБ (10) — межорбитальный буксир массой до 10 т; РБ (25) — разгонный блок массой до 25 т; СВТК — средство выведения тяжелого класса (типа «Ангара А5»); ОИСЛ — орбита искусственного спутника Луны

Конфигурация, состав и, следовательно, масса станции не являются постоянными величинами: на разных этапах развития в нее входят различные элементы. На начальном этапе масса ОЛС, состоящей из одного энергодвигательного модуля (ЭДМ), составляет примерно 4 т.

В процессе дооснащения масса ОЛС и решаемые ею задачи меняются. Масса ОЛС на этапе обеспечения автоматических миссий на поверхность Луны (рис. 5, а) составляет около 26 т, а на этапе обеспечения автоматических и пилотируемых миссий на Луну (рис. 5, б) — 103...109 т.

ЭДМ с установленной энергетической мощностью на солнечных батареях порядка 18 кВт доставляется к Луне с помощью разгонного блока, после чего обеспечивает орбитальные маневры (поддержание необходимой орбиты) с использованием электрореактивных двигателей СПД-140 разработки ОКБ «Факел» (г. Калининград) [21].

Ежегодно для поддержания орбиты высотой до 100 км над Луной требуется характеристическая скорость ~ 75 м/с, для чего в составе ЭДМ имеется запас газа порядка 1300 кг, которого хватает как минимум на 5 лет полета ОЛС массой около 26 т (масса ОЛС приводится к усредненному значению).

Перед началом пилотируемых миссий к Луне появляются новые требования к ОЛС, обеспечиваемые интеграцией в ее состав новых специализированных модулей. Общая масса ОЛС увеличивается с 26 до 93...109 т в среднем за год. Поэтому для ее энергоснабжения, управления профилем высоты осуществляется запуск ЭДМ № 2, который в два раза превышает ЭДМ № 1 и по массе, и по генерируемой мощности (8 т и 36 кВт вместо 4 т и 18 кВт соответственно).

ЭДМ № 2 может быть оснащен более мощными (25 кВт) электрореактивными двигателями СПД-230, отработкой которых в настоящее время занимается ОКБ «Факел». Это позволит

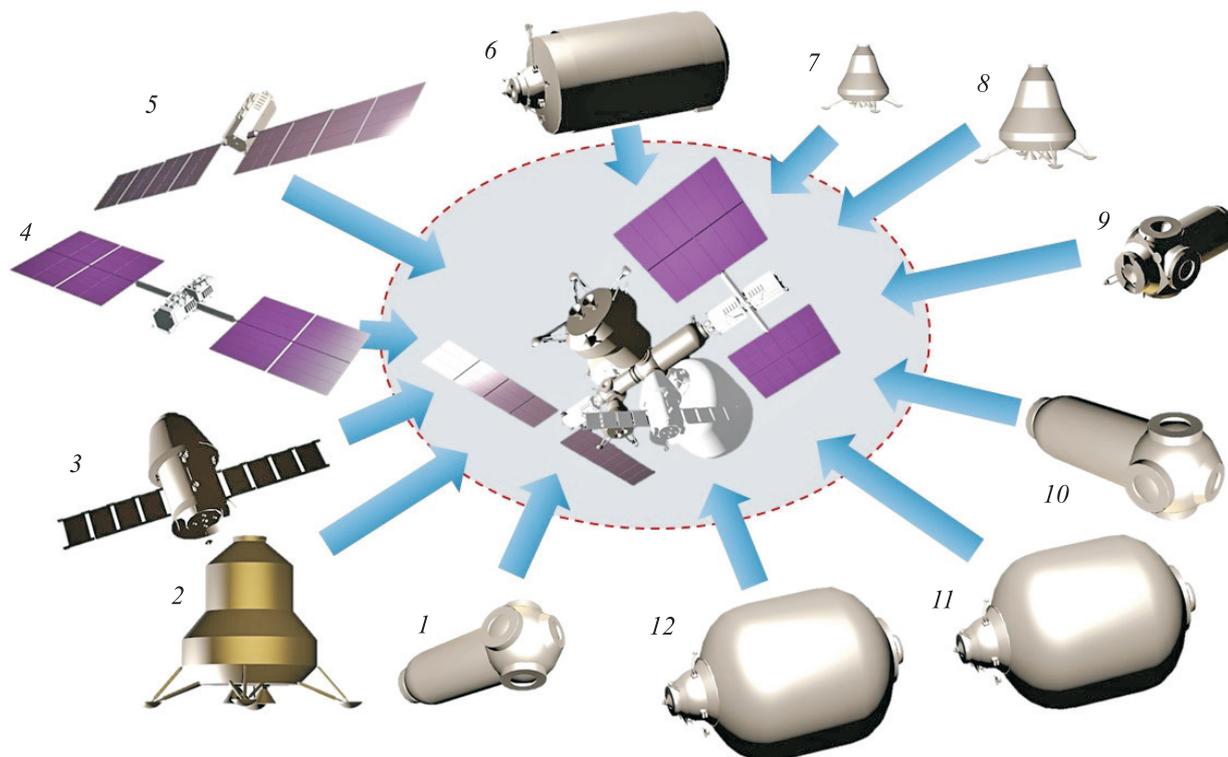


Рис. 4. Элементы ОЛС:

1 — модуль-стапель; 2 — лунный (пилотируемый) взлетно-посадочный комплекс; 3 — пилотируемый транспортный корабль «Орел»; 4 и 5 — энергодвигательные модули № 2 и 1; 6 — танкер-заправщик; 7 и 8 — многоразовые беспилотные взлетно-посадочные комплексы № 1 и 2; 9 и 10 — узловые модули для беспилотных и пилотных миссий; 11 и 12 — складской и жилой модули

Значения предварительных масс элементов ОЛС и их количество в составе станции

Номер	Наименование элемента	Масса элемента, т	Количество элементов в составе ОЛС, шт.
1	Энергодвигательный модуль № 1	4,0	1 или 2
2	Танкер-заправщик	15,0	1 или 2
3	Многоразовый беспилотный взлетно-посадочный комплекс № 1	1,5	1 или 2
4	Многоразовый беспилотный взлетно-посадочный комплекс №2	4,0	1 или 2
5	Узловой модуль для беспилотных миссий	1,5	1 или 2
6	Энергодвигательный модуль № 2	8,0	1
7	Пилотируемый транспортный корабль «Орел»	24,0	1
8	Лунный (пилотируемый) взлетно-посадочный комплекс	25,0	1
9	Модуль-стапель	6,0	1
10	Жилой модуль	6,0	1
11	Складской модуль	6,0	1
12	Узловой модуль для пилотируемых миссий	4,0	1 или 2

существенно увеличить ресурс работы двигательной установки за счет менее частых включений.

Применение двух состыкованных между собой узловых модулей (один — для беспилотных

миссий — стыковки с КА, не требующими внутреннего перехода космонавтов, второй — для пилотных миссий — стыковок КА, требующих внутреннего перехода космонавтов) позволяет:

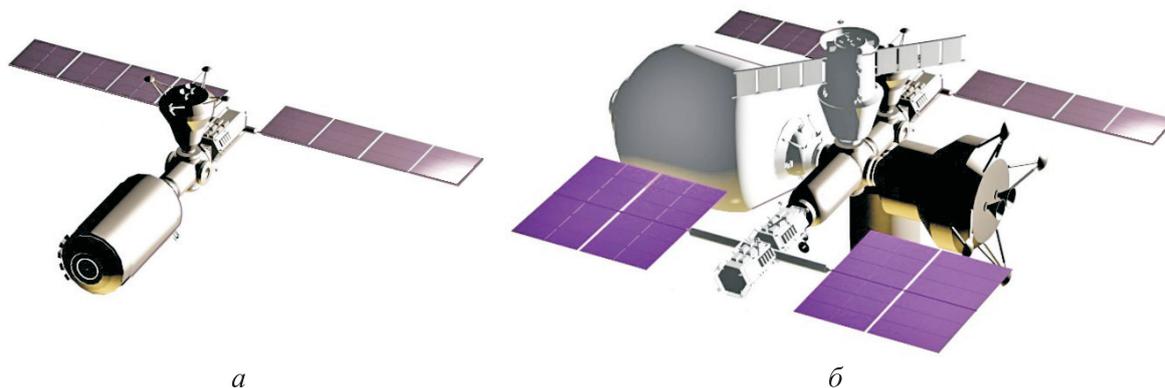


Рис. 5. Конфигурация ОЛС на этапе:
а — обеспечения автоматических миссий на поверхность Луны; *б* — обеспечения автоматических и пилотируемых миссий на Луну

- совмещать обслуживание на борту ОЛС автоматических и пилотируемых КА;
- обеспечивать компактную конфигурацию станции (модули интегрируются ближе к центру масс), что важно, в том числе и с точки зрения работы электроракетной двигательной установки;
- минимизировать ремонтно-восстановительные работы на борту благодаря специализации модулей (и, соответственно, уменьшения их размерности) и замены отказавших модулей целиком;
- разделить ОЛС (при необходимости) на две самостоятельные станции со специфическим назначением каждой отделившейся части;
- эксплуатировать ОЛС бесконечно долго за счет замены всех модулей, входящих в состав ОЛС.

Таким образом, с использованием новых проектных подходов предложен вариант ОЛС, отличающийся от известных проектов новыми свойствами, качественно важными для эксплуатации таких удаленных космических объектов, какими являются станции в окололунной области.

Выводы

1. В современном проектировании космических станций существует два основных метода от «возможностей» и от «задач». Первый метод предполагает создание космических объектов исходя из определенного (уже имеющегося) научно-технического задела, приспособившая его к решению новых космических задач. Это можно наблюдать в проектах российской космонавтики. Второй метод подразумевает фор-

мулирование определенных (как правило, вполне конкретных) задач, которые необходимо решить с помощью разрабатываемого космического объекта. Создание новых космических объектов требует дополнительного времени и привлечения как можно более широкого множества разработчиков. Для этого, например, NASA широко использует международную кооперацию. Распределяя ответственность по элементам, можно создавать объекты совершенно нового уровня технологического развития, решающие поставленные задачи.

2. Оба современных метода проектирования используют при построении ОЛС. Однако применимость этих подходов для ОЛС вызывает большие сомнения. Дело в том, что ОЛС — не самоцель и, как правило, не конечная задача миссий к Луне. Кроме того, в зависимости от этапа освоения Луны, задачи, решаемые на борту ОЛС, меняются. Динамика задач приводит к тому, что облик станции на разных временных интервалах должен быть различным. При этом надо учитывать, что логистическое обеспечение ОЛС на порядок дороже, чем для околоземных станций.

3. При создании новых космических станций, тем более станций, участвующих в сценариях космических миссий не в качестве конечной цели назначения, а в качестве одного из элементов взаимосвязанной космической инфраструктуры, необходимо внедрять новые (системные) методы проектирования. Один из таких методов предложен в настоящей работе. Отправным моментом такого метода является разработка множества сценариев полетов к Луне, причем не только пилотируемых, но и автоматических аппаратов.

4. Сценарии лунных миссий анализируются и с точки зрения совокупной научной результативности миссий, и с точки зрения их трудоемкости. Под космической миссией подразумевается запуск не только одного космического средства, а выполнение законченной научной программы исследований, в рамках которой может быть осуществлено несколько запусков космических средств, в том числе и вспомогательного (обеспечивающего) назначения. Среди множества сценариев отбирают наиболее эффективные — актуальные, которые будут определять облик ОЛС и динамику изменения этого облика во времени.

5. Анализируя множество АС, можно последовательно определить шкалы готовности элементов космической инфраструктуры, реализуемых сценариев и необходимых функций со стороны ОЛС. Шкала необходимой готовности функций со стороны ОЛС определяет ее задачи во времени, а, следовательно, и облик на разных этапах.

6. Динамика облика ОЛС на разных этапах приводит к необходимости использования открытой архитектуры станции и специализации

модулей — созданию типовых специализированных модулей. Сочетание специализированных модулей в рамках открытой архитектуры позволяет станции оперативно адаптироваться к выполнению новых задач и функционировать неограниченно долго (теоретически — без ограничения времени).

7. Постоянное совершенствование типовых модулей и их перманентная замена в рамках ОЛС позволят решать задачи исследования и освоения Луны без таких «переломных» событий, как утилизация, ремонт станции и строительство новой ОЛС. Это минимизирует эксплуатационные расходы и затраты на разработку новых космических средств.

8. Благодаря использованию узловых модулей и танкеров-заправщиков программа исследования Луны автоматическими КА может быть сначала дополнена пилотируемой программой полетов на Луну, а затем гибко сочетаться с пилотируемой программой. По сути, это станет объединенной программой автоматических и пилотируемых средств — программой освоения Луны.

Литература

- [1] Строганова Л.Б., Столярчук В.А., Макарова С.М. и др. Лунная база, проблемы обитаемости. *Труды МАИ*, 2013, № 67. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=41586>
- [2] Zarubin D.S., Sevastyanov N.N., Mikrin E.A., et al. Lunar orbital platform segment for support and provision of lunar surface missions. *IAC*, 2019, paper IAC-19.A5.1.5.
- [3] Макушенко Ю.Н., Муртазин Р.Ф., Зарубин Д.С. Космический порт для доставки экипажа на поверхность Луны. *Космическая техника и технологии*, 2019, № 2, с. 5–13.
- [4] *NASA Lunar programs. Opportunities exist to strengthen analyses and plans for moon landing.* Report to congressional committees GAO-20-68. GAO, 2019. 45 p.
- [5] *Global exploration roadmap.* NASA, 2020. 19 p.
- [6] Bodkin D., Escalera P., Vocam K. *A human lunar surface base and infrastructure solution.* AIAA, 2006, paper AIAA 2006-7336.
- [7] Cichan T., Bailey S., Burch A., et al. Concept for a crewed lunar lander operating from the lunar orbiting platform-gateway. *IAC*, 2018, paper IAC-18.A5.1.4x46653
- [8] Седелников А.В., Танеева А.С., Орлов Д.И. Формирование проектного облика малого космического аппарата технологического назначения на основе опыта проектирования и эксплуатации космических аппаратов технологического назначения других классов. *Вестник МАИ*, 2020, № 3, с. 84–93, doi: <https://doi.org/10.34759/vst-2020-3-84-93>
- [9] Whitley R., Martinez R. Options for staging orbits in cis-lunar space. *IEEE Aerospace Conf.*, 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500635>
- [10] Сапрыкин О.А. Исследования планет с использованием многоразовых взлетно-посадочных комплексов. *Вестник МАИ*, 2020, № 4, с. 48–58, doi: <https://doi.org/10.34759/vst-2020-4-48-58>
- [11] Landgraf M., Hosseini S., Hufenbach B., et al. *HERACLES - human/robotic lunar partnership mission (HRLPM2).* ESA, CDF study report CDF-156(A), 2015. 318 p.
- [12] Сапрыкин О.А. Технологии освоения Луны пилотируемыми и автоматическими средствами. *Пилотируемые полеты в космос*, 2014, № 2, с. 35–50.

- [13] Крикалев С.К., Сапрыкин О.А. Пилотируемая лунная инфраструктура и коммерциализация полетов к Луне. *Пилотируемые полеты в космос*, 2016, № 1, с. 47–62.
- [14] У «лунного» космического корабля «Орел» обнаружили «лишний вес». *topwar.ru: веб-сайт*. URL: <https://topwar.ru/165743-u-lunnogo-kosmicheskogo-korablja-orel-obnaruzhili-lishnij-ves.html> (дата обращения: 15.05.2021).
- [15] Lunar orbital platform-gateway. *nasa.gov: веб-сайт*. URL: <https://www.nasa.gov/gateway> (дата обращения: 15.05.2021).
- [16] Россия и Китай подписали меморандум о создании станции на Луне. *tass.ru: веб-сайт*. URL: <https://tass.ru/kosmos/10862181?fbclid=IwAR1GadwPII2NwL3M7B2wbCabNNZofjzVS5svLmgifROWgoljGhlxrhR0CA> (дата обращения: 15.05.2021).
- [17] Saprykin O., Imshenetskiy A. The methodology of comparing the effectiveness of different scenario for lunar exploration by manned and automatic means. *IAC*, 2016, paper IAC-16,A3,IP,7,x32701.
- [18] Сапрыкин О.А. Открытые системы на орбите. *Пилотируемые полеты*, 2013, № 1, с. 15–28.
- [19] РКК «Энергия» предложила создать российскую космическую станцию. *ria.ru: веб-сайт*. URL: <https://ria.ru/20201126/kosmos-1586442362.html> (дата обращения: 15.05.2021).
- [20] Saprykin O., Imshenetskiy A., Landgraf M. About results of comparing the effectiveness of different scenario for lunar exploration. *IAC*, 2016, paper IAC-16,B3,6-A5.3,1,x32703.
- [21] Продукция ОКБ Факел. *fakel-russia.com: веб-сайт*. URL: <https://fakel-russia.com/en/productions> (дата обращения: 15.05.2021).

References

- [1] Stroganova L.B., Stolyarchuk V.A., Makarova S.M., et al. The problems habitability manned lunar station. *Trudy MAI*, 2013, no. 67. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=41586> (in Russ.).
- [2] Zarubin D.S., Sevastyanov N.N., Mikrin E.A., et al. Lunar orbital platform segment for support and provision of lunar surface missions. *IAC*, 2019, paper IAC-19.A5.1.5.
- [3] Makushenko Yu.N., Murtazin R.F., Zarubin D.S. The cislunar spaceport for the crew delivery to the lunar surface. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space Engineering and Technology], 2019, no. 2, pp. 5–13 (in Russ.).
- [4] NASA Lunar programs. *Opportunities exist to strengthen analyses and plans for moon landing*. Report to congressional committees GAO-20-68. GAO, 2019. 45 p.
- [5] *Global exploration roadmap*. NASA, 2020. 19 p.
- [6] Bodkin D., Escalera P., Bocam K. *A human lunar surface base and infrastructure solution*. AIAA, 2006, paper AIAA 2006-7336.
- [7] Cichan T., Bailey S., Burch A., et al. Concept for a crewed lunar lander operating from the lunar orbiting platform-gateway. *IAC*, 2018, paper IAC-18.A5.1.4x46653
- [8] Sedel'nikov A.V., Taneeva A.S., Orlov D.I. Forming design layout of a technological purpose small spacecraft based on other class of technological spacecraft design and operation experience. *Vestnik MAI* [MAI Aerospace Journal], 2020, no. 3, pp. 84–93, doi: <https://doi.org/10.34759/vst-2020-3-84-93> (in Russ.).
- [9] Whitley R., Martinez R. Options for staging orbits in cis-lunar space. *IEEE Aerospace Conf.*, 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500635>
- [10] Saprykin O.A. Planets exploration with reusable takeoff and landing complexes. *Vestnik MAI* [MAI Aerospace Journal], 2020, no. 4, pp. 48–58, doi: <https://doi.org/10.34759/vst-2020-4-48-58> (in Russ.).
- [11] Landgraf M., Hosseini S., Hufenbach B., et al. *HERACLES – human/robotic lunar partnership mission* (HRLPM2). ESA, CDF study report CDF-156(A), 2015. 318 p.
- [12] Saprykin O.A. Exploration technologies of the moon using manned and automatic means. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2014, no. 2, pp. 35–50 (in Russ.).
- [13] Krikalev S.K., Saprykin O.A. Manned lunar infrastructure and commercialization of flights to the moon. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2016, no. 1, pp. 47–62 (in Russ.).

- [14] U «lunnogo» kosmicheskogo korablya «Orel» obnaruzhili «lishniy ves» [Lunar “Orel” spacecraft was found to be “overweight”]. *topwar.ru: website*. URL: <https://topwar.ru/165743-u-lunnogo-kosmicheskogo-korablja-orel-obnaruzhili-lishnij-ves.html> (accessed: 15.05.2021) (in Russ.).
- [15] Lunar orbital platform-gateway. *nasa.gov: website*. URL: <https://www.nasa.gov/gateway> (accessed: 15.05.2021).
- [16] Rossiya i Kitay podpisali memorandum o sozdanii stantsii na Lune [Russia and China signed a memorandum about building a station on the Moon]. *tass.ru: website*. URL: <https://tass.ru/kosmos/10862181?fbclid=IwAR1GadwPii2NwL3M7B2wbCabNNZofjzVS5svLmgifROWgoljGhlxrhrR0CA> (accessed: 15.05.2021) (in Russ.).
- [17] Saprykin O., Imshenetskiy A. The methodology of comparing the effectiveness of different scenario for lunar exploration by manned and automatic means. *IAC*, 2016, paper IAC-16,A3,IP,7,x32701.
- [18] Saprykin O.A. "Open" systems on orbit. *Pilotiruemye polety*, 2013, no. 1, pp. 15–28 (in Russ.).
- [19] RKK «Energiya» predlozhila sozdat' rossiyskuyu kosmicheskuyu stantsiyu [“Energy” RKK offered to develop Russian space station]. *ria.ru: website*. URL: <https://ria.ru/20201126/kosmos-1586442362.html> (accessed: 15.05.2021) (in Russ.).
- [20] Saprykin O., Imshenetskiy A., Landgraf M. About results of comparing the effectiveness of different scenario for lunar exploration. *IAC*, 2016, paper IAC-16,B3,6-A5.3,1,x32703.
- [21] Produktsiya OKB Fakel [Products of OKB “Fakel”]. *fakel-russia.com: website*. URL: <https://fakel-russia.com/en/productions> (accessed: 15.05.2021) (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 08.06.2021

Информация об авторе

САПРЫКИН Олег Алексеевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (119991, Москва, Российская Федерация, ул. Косыгина, д. 19, e-mail: saprykin@geokhi.ru, oleg.sapr@gmail.com).

Information about the author

SAPRYKIN Oleg Alekseevich — Candidate of Science (Eng.), Lead Researcher. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences (119991, Moscow, Russian Federation, Kosygina St., Bldg. 19, e-mail: saprykin@geokhi.ru, oleg.sapr@gmail.com).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Сапрыкин О.А. Новые подходы к проектированию лунной станции для обслуживания автоматических и пилотируемых космических аппаратов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 9, с. 86–96, doi: 10.18698/0536-1044-2021-9-86-96

Please cite this article in English as:

Saprykin O.A. New Approaches to the Design of a Lunar Station for Servicing Automatic and Manned Spacecraft. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 9, pp. 86–96, doi: 10.18698/0536-1044-2021-9-86-96