

Space Research & Technologies

КОСМИЧЕСКИЕ

№1
2026

ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

Международный журнал о космонавтике International Aerospace Journal

**Welcome
to Baikonur**



**Что строит
Aspire**

**О необходимости испытательной
и стендовой базы**

**Перспективы
легких носителей**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Нурлан Аселкан –
главный редактор, издатель,
Казахстан

Анатолий Агарков –
советник генерального конструктора ГKB «Южное»,
Украина

Ергазы Нургалиев –
ветеран казахстанской космонавтики

Мейрбек Молдабеков –
советник председателя Аэрокосмического комитета,
Казахстан

Марат Нургужин –
научный руководитель АО «НЦКИТ»,
Казахстан

Рене Пишель –
эксперт по вопросам международного
сотрудничества в космосе,
Германия

Станислав Руденко –
генеральный директор Aspire Space Ltd,
ОАЭ

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

Сергей Сопов –
технический директор Balkan Space Engineering,
Болгария

Дмитрий Шаталов –
директор Международной космической школы
им. В.Н. Челомея,
Байконур

Журнал представлен в Государственном космическом агентстве
Украины, NASA (США), ESA, DLR (Германия),
JAXA (Япония), Израильском космическом агентстве,
CNES (Франция),
UKSA (Великобритания), SSTL, AIRBUS DEFENCE & SPACE,
THALES ALENIA SPACE, SPACEX,
GISTDA (Таиланд),
КБ «Южное» имени М.К. Янгеля, ПО «Южный машинострои-
тельный завод» имени А.М. Макарова.

The magazine is presented in the State Space Agency of Ukraine,
NASA (USA), ESA, DLR (Germany), JAXA (Japan),
Israel Space Agency, CNES (France), UKSA (United Kingdom),
SSTL, AIRBUS DEFENCE & SPACE, THALES ALENIA SPACE,
SPACEX,
GISTDA (Thailand),
Yuzhnoye State Design Office named after M.K. Yangel,
A.M. Makarov Yuzhny Machine-Building Plant.

Журнал «Космические исследования и технологии»,
№1 (25) 2026

Главный редактор Нурлан Аселкан
Дизайн и верстка Татьяна Рожковская
Фото: NASA, ESA

Адрес редакции: 050005, Казахстан, Алматы,
ул. Тлендиева, 54/21, тел. +7 775 2969 752
e-mail: asselkann@gmail.com
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

Print House Gerona

Казахстан, г. Алматы, Сатпаева, 30А/3, офис 124

Тираж 500 экземпляров

Учредитель и издатель ТОО COSMOS.KZ

Перевод и корректура — Фонд поддержки науки
и технологий SCIENCE

Magazine «Space Research and Technologies»,
№1 (25) 2026

Editor-in-Chief Nurlan Aselkan

Design and make-up Tatyana Rozhkovskaya

Photo: NASA, ESA

Address of Editorial Office: 050005, Tlendiev str, 54/21, Almaty,
Kazakhstan, Phone +7 775 2969 752
e-mail: asselkann@gmail.com
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

Print House Gerona

Kazakhstan, Almaty, Satpaev str, 30A/3, office 124

Circulation 500 copies

Founder and publisher LLP COSMOS.KZ

Translation and proofreading –
Fund for Supporting of Science
and Technologies SCIENCE



СОТРУДНИЧЕСТВО

- 4** Рассвет над Байконуром
Нурлан Аселкан

ПРОЕКТ / ПРОЕКТЫ

- 10** What the Future Rests On
Aspire's View of the Next 25 Years
Stan Rudenko
- 15** Взгляд Aspire на ближайшие 25 лет в космосе
Стэн Руденко
- 20** On the Creation of an International Hot-Fire Test Center for Space Technology in Kazakhstan
Igor Boldyrev, Vadim Samoylovich, Oleg Balitsky
- 24** О создании Международного огневого испытательного центра космической техники на территории Казахстана
Игорь Болдырев, Вадим Самойлович, Олег Балицкий
- 30** Когда ракеты возвращаются. Как меняется космический рынок и где в нем Казахстан
- 38** А «Thrust» to the Stars:
Private Space in the Republic of Kazakhstan
- 44** «Тяга» к звездам:
частный космос в Республике Казахстан

НАУКА

- 50** Стратегический информационный суверенитет для геостационарной коммуникационной инфраструктуры
Анатолий Кременчуцкий, Виктор Лефтер
- 58** Первый казахстанский окололунный телескоп
Алан Казкенов, Чингис Омаров, Чингиз Акниязов, Александр Серебрянский, Сергей Прокудин, Максим Кругов

НОСИТЕЛИ

- 64** Сверхлегкие и легкие носители:
востребованность и технологичность
Мырзахан Омарбаев
- 70** Долгожданный старт
Арман Кульбеков, Пабло Родригес



Dear friends and colleagues!

You are holding in your hands the 25th issue of the journal «Space Research and Technologies».

In our editorial policy, we strive to focus our attention on the main issues that determine the main course of space exploration. We are very pleased that Kazakhstan and the Baikonur Cosmodrome remain an important location for space projects of international significance.

Baikonur is preparing to host a visit from Mr. Jared Isaacman, the new head of the US National Aeronautics and Space Administration. This event reflects the strategic importance of space exploration. Agency and enterprise leaders are finding opportunities for fruitful contacts despite the challenging geopolitical situation.

At a recent meeting of the Security Council of the Republic of Kazakhstan, President Kassym-Jomart Tokayev noted “that the global space sector is undergoing fundamental changes. The era when space activities were the preserve of a «closed club» of great powers is a thing of the past”.

You will find information about new promising partners, startups, and ways to implement their ideas in the magazine. Among them are very interesting projects on the creation of space transport systems, the development of a test and bench base, the development of space telescopes and other systems.

Let's hope that 2026 brings a lot of good space news.

Nurlan Asselkan, editor-in-chief

Уважаемые друзья, коллеги!

Вы держите в своих руках 25-й выпуск журнала «Космические исследования и технологии».

В редакционной политике мы стараемся акцентировать свое внимание на главном, на том, что определяет магистральный курс освоения Космоса. Нам очень приятно, что Казахстан, космодром Байконур остаются важным местом для космических проектов, имеющих международное значение.

Байконур готовится принять с визитом нового главу Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США Джареда Айзекмана. Это мероприятие – отражение того факта, что космонавтика имеет стратегическое значение, и несмотря на сложную геополитическую ситуацию руководители агентств и предприятий находят возможности для плодотворных контактов.

На недавнем заседании Совета безопасности Республики Казахстан президент Касым-Жомарт Токаев отметил, «что глобальный космический сектор претерпевает коренные изменения. Эпоха, когда космическая деятельность была уделом «закрытого клуба» великих держав, осталась в прошлом».

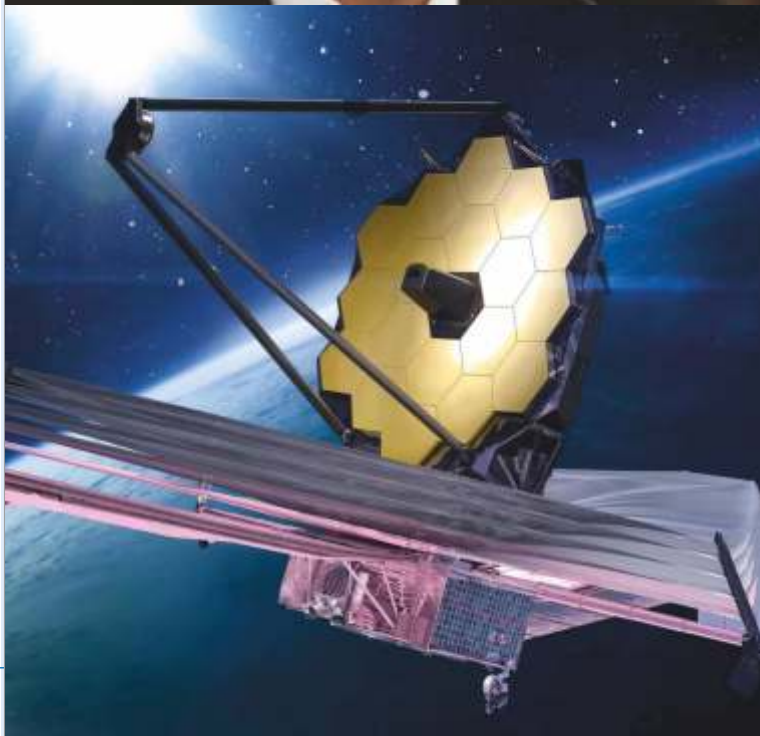
В журнале вы найдете информацию о новых перспективных партнерах, стартапах, о путях реализации их идей. Среди них очень интересные проекты по созданию космических транспортных систем, развитию испытательной и стендовой базы, разработке космических телескопов и других систем.

Будем надеяться, что 2026 год принесет много добрых космических вестей.

Нурлан Аселкан, главный редактор

**New chief prepares NASA
for challenges**

**Новый глава
ГОТОВИТ NASA
К ВЫЗОВАМ**



Рассвет над Байконуром

Участники крупных космических проектов становятся реалистами



Нурлан АСЕЛКАН,
главный редактор журнала
«Космические исследования и технологии»



Байконур

Возрождение профильного форума

В Алматы 8-9 сентября 2025 года прошла международная конференция «Дни космоса в Казахстане – 2025». Мероприятие не дежурное. Последний раз оно проводилось в далеком 2019-м – до ковида и всех политических потрясений последующего времени. С того момента мы были свидетелями отмены проектов KazSat-2R, «Гагаринский старт», бесконечных откладываний «Байтерека». На Байконуре все ждали ухода России на свои полигоны. Однако то, что увидели участники «Дней космоса», проходивших в великолепном

Международный день космонавтики в последние годы отмечался в атмосфере тревог и опасений. Тому причинами были и давно обозначившийся кризис космонавтики постсоветских стран, и геополитические испытания. Санкционный режим подорвал кооперационные связи и обрек многие предприятия на самоизоляцию. Но, начиная со второй половины 2025 года, стали происходить позитивные события. Нет необходимости освещать все. Остановлюсь лишь на тех, которые имеют для нас существенное значение.

кампусе Казахского национального университета, было далеко не минорным. Свыше 700 участников из нескольких десятков стран, новые инициативы и проекты. Наконец наполнились конкретикой заявления официальных лиц и руководителей космических предприятий РК. Было объявлено о масштабном обновлении спутниковых группировок, предстоящем конкурсе на создание спутника связи, начале работ по созданию аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) как для Казахстана, так и для ряда иностранных государств.



МКС

На форуме озвучили сенсационную по сути идею о создании на территории, выведенной из аренды РФ, нового объекта New Spaceport, предназначенного для международных операторов пусковых услуг. Много говорили о развитии Байконура, необходимости использования современных механизмов для решения его проблем. Такой в ближайшей перспективе видится возрождение идеи специальной экономической зоны и международного космопорта, разработанной в свое время командой во главе с Крымбеком Кусербаевым.

Впервые на форуме был широко представлен финансовый сектор: банки, инвестиционные компании, государственные регуляторы, страховщики. Ну и люди, причастные ко всей космической тематике, наконец, получили возможность встретиться, обсудить все проблемы и возможности.

Активно работали на «Днях космоса» наши герои-космонавты Тохтар Ауба-

киров и Айдын Аимбетов, их коллеги из России, Румынии, Монголии. Также – и будущие космонавты. На форуме отдали дань уважения памяти Талгата Амангельдиевича Мусабаева – легендарного авиатора и космонавта, создателя современной космической отрасли Казахстана, сделавшего, как видится сегодня, самое сложное.

Ну а теперь – про другие позитивные события.

«Салют-8», или Возвращение блудного сына

В разгар геополитической лихорадки и кризиса в отношениях великих держав, они же участники проекта Международной космической станции (МКС), в России была выдвинута инициатива о создании национальной орбитальной станции с незатейливым названием РОС – российская орбитальная станция. Самые старые модули российского сегмента МКС ветшали. На них наблюдались сбои, утечки воздуха. Конфронтация на Земле



Дмитрий Баканов,
глава Роскосмоса

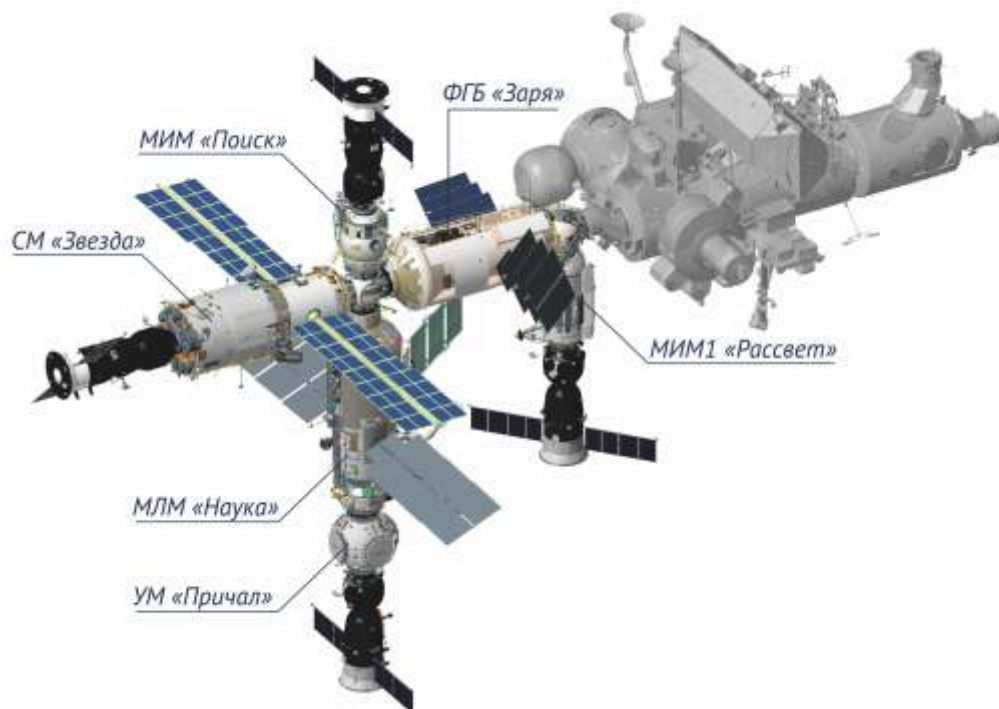
обусловила принятие общего решения о затоплении станции в 2028-2030 годах. К сожалению, деградация инженерного и конструкторского корпусов РФ сыграла дурную шутку. Были предложены, как выяснилось в итоге, неадекватные, практически нереализуемые решения.

Вот они. Станция будет находиться на наклонении 97 градусов северной ши-

роты для большего охвата территории РФ и контроля Северного морского пути. Вывод модулей станции будет производиться новой ракетой «Ангара-5М» с космодрома Восточный в направлении на северо-запад. Экипажи будут доставляться новым пилотируемым кораблем «Орел». Грузы – соответственно новым грузовиком «Прогресс РОС».

В поддержку этой идеи были брошены серьезные идеологические и пропагандистские силы. Тем более неожиданным было заявление вице-премьера РФ Дениса Мантурова в декабре 2025 года о возможности выбора для РОС традиционного для советских станций и ныне МКС байконурского наклонения 51,6 градуса северной широты. Период неопределенности завершился после оглашенного в феврале 2026-го решения Роскосмоса о том, что базовым для станции будет наклонение 51,6, что позволит использовать потенциал российского сегмента МКС и создаст благоприятные условия для международного сотрудничества.

В чем же драма и каковы последствия этого решения?



Российский
сегмент МКС

Дмитрий Баканов и его команда в Роскосмосе, проведя своего рода ревизию, твердо убедились в невозможности создания в ближайшие годы всей вышеперечисленной техники. Работы идут вяло, сроки постоянно переносятся вправо. Из почти построенного есть только один экспериментальный модуль.

Тогда новое руководство Роскосмоса, осознав нелепость и неосуществимость предлагаемой архитектуры перспективной станции РОС (создание на Восточном инфраструктуре для пилотируемых полетов, разработку и ввод в эксплуатацию пилотируемой версии «Ангара-5», создание нового пилотируемого корабля (последнее название «Орел»), озвучило публично свои смутные сомнения. Мол, есть вопросы к выбранному наклонению 97 градусов с. ш.

Тут достаточно быстро сформировался новый альтернативный облик русской станции – из того что есть. Есть научно-энергетический модуль (НЭМ), стоящий на стапелях в РКК «Энергия». Есть носители «Союз-2», пилотируемые «Союз МС» и грузовые «Прогресс МС». Есть даже тяжелые носители «Протон М» на тот невероятный случай, если таки построят когда-нибудь еще один новый модуль.

И все это богатство или убожество выбора, решайте сами, привязано к космодрому Байконур.

Российская академия наук (РАН) быстренько сообщила о готовности рассмотреть новые обоснования по изменению наклонения перспективной российской орбитальной станции. Затем стала поступать информация, что часть работающего российского сегмента МКС рассматривается как возможная основа для РОС уже на наклонении 51,6. Так как она там уже и летает. Речь идет пока о модулях «Наука», «Причал» и, возможно, «Рассвет». Конечно, это возрастные изделия, но выбирать РФ не приходится. В итоге и было принято очевидное решение. Которое, кстати, в корне меняет приоритеты российской космонавтики,



Ракета Союз-5

и заодно перспективы космодрома Байконур.

Мы с коллегами назвали такой сценарий «Салют-8», потому что новая РОС и по конфигурации, и по своим возможностям будет очень близка к советской станции «Салют-7» (ей посвящен одноименный фильм) с транспортно-грузовыми модулями «Космос-1443» и «Космос-1686».

Последствия всего этого значительны – пилотируемая программа России оставляет по сути космодром Восточный за скобками. Вариант с РОС на полярной орбите был единственно возможным для



Джаред Айзекман

него, поскольку, если летать на иное направление, трассы выведения будут проходить либо над Колымским нагорьем, либо над морскими акваториями.

А Байконур, его инфраструктура, его возможности, летающая с него ракетно-космическая техника будут востребованы, причем надолго. Впрочем, определенное оживление заметно уже сейчас. Без замечаний прошел пуск носителя «Протон М». Готовится команда казахстанских специалистов для работы на этом космическом ракетном комплексе (КРК). Вошла в строй после срочного ремонта пусковая установка на 31-й площадке. Наконец, мы увидели живьем пуск носителя «Союз-5», пожелаем ему безаварийных испытаний. На форуме «Дни космоса в Казахстане» было объявлено о планах по созданию отечественного носителя сверхлегкого класса. Международная компания Aspire готовится к приходу в ближайшее время на Байконур для реализации своего амбициозного проекта.

Глава NASA ставит на МКС

Хорошие новости для нас приходят не только от соседей. Руководство американского космического агентства, рассмотрев состояние дел по созданию новых коммерческих пилотируемых станций, пришло к выводу, что в обозначенные сроки

завершения проекта МКС, в 2030-2032 годах, они не будут работоспособны. Также NASA сообщило, что не видит расширения коммерческих запусков и программ, наплыва космических туристов, производства на орбите и других признаков того, что бизнес потянет обслуживание собственных космических станций.

Причин несколько.

Создание модулей космической станции – очень сложная задача. И NASA, и ESA, несмотря на значительные инвестиции, сталкиваются с серьезными трудностями при создании собственных модулей, ведущих к задержкам. NASA считает, что частные поставщики столкнутся с аналогичными задержками.

Отдельная частная станция – дорогое удовольствие. Ее строительство обойдется в несколько миллиардов долларов плюс около 2 миллиардов долларов на доставку экипажей и грузов на нее в год.

Эксплуатация станции сопряжена со сложными задачами. NASA и ESA придется иметь дело с маневрами по предотвращению столкновений с космическим мусором, отказами оборудования, медицинскими чрезвычайными ситуациями и многим другим. Для любой частной компании это огромный вызов, и ни у одной из них нет опыта работы в этих областях.

NASA предложило частным компаниям другой вариант. Агентство заявило, что закупит новый центральный модуль для МКС, позволит нескольким коммерческим компаниям затем к ней пристыковаться. NASA пригласило компании доставить свои модули на Международную космическую станцию, где они смогут безопасно научиться работать в космосе, используя преимущества энергетических, двигательных и транспортных услуг, которые обеспечивает инфраструктура МКС. Это в перспективе даст возможность либо продолжать совместную работу, либо по мере готовности отделиться в самостоятельный полет, как сейчас это, возможно, планирует сделать Роскосмос.



Частная станция
StarLab

Как отмечает космический обозреватель Эрик Бергер, NASA заявило, что компании могут научиться ходить, прежде чем бегать. Представители агентства подчеркнули, что это всего лишь один из вариантов, а не обязательное изменение текущих планов.

Что это сулит?

Скорее всего, массы новых станций не будет. Будет базирование на МКС новых модулей с заменой старых. И затопление «старой МКС» надо понимать как удаление отслуживших модулей и блоков. Сама же ферменная конструкция станции имеет ресурс около 70 лет. Когда на ней будет новое американское ядро станции от NASA плюс то, что называют РОС от РФ, плюс какие-то коммерческие модули, эту веселую компанию никакой метлой не прогонишь. Понятно, что всем на одной платформе находиться и выгодно, и безопасно. Из видимых плюсов – улучшение и резервирование логистики как для грузов, так и для экипажей. Ну и не нужно создание новых ЦУПов, нового контура управления для отдельно взятых малых коммерческих станций. Они, если и отделятся от МКС, все равно останутся на той же орбите, как и РОС.

Все это еще один весомый аргумент в пользу Байконура, в пользу наклонения

51,6. Да и со многих космодромов можно в соответствующее пусковое окно летать также. Но на Байконуре делать это гораздо удобнее.

В июле этого года глава NASA Джаред Айзекман планирует посетить Байконур. Мы все надеемся на успех этого визита.

65 лет присутствия человека в космосе

Мы свидетели того, что в последние годы космос прочно пришел на Землю. От первого гагаринского полета до сегодняшней «Артемиды-2» в историческом смысле прошло немного времени. Но без данных ДЗЗ, широкополосной связи direct to cell, навигации невозможно представить себе ни мирную жизнь, ни войну, особенно в условиях, когда, к примеру, средства нападения на порядки дешевле, чем средства обороны. Мы осознаем свою уязвимость, живя и работая на своей территории, на Земле, располагая лишь традиционными силами и средствами.

В космосе нужны масштабные и независимые платформы. Там должны быть элементы базовой инфраструктуры – от мониторинга, энергетики, логистики до центров обработки данных. Но до космоса нужно дотянуться. И это то, что мы сможем обеспечить, возможно, лучше других. ■

«Новое поколение»

What the Future Rests On Aspire's View of the Next 25 Years

«It is difficult to say what is impossible, for the dream of yesterday is the hope of today and the reality of tomorrow»

*Robert H. Goddard (1904),
quoted in Gerard K. O'Neill, The High Frontier: Human Colonies in Space (1976)*



Stan RUDENKO,
CEO of Aspire Space

By 2051, a household robot will be as ordinary as a smartphone is today. It will cook dinner, help an elderly person up from a chair, and take on dozens of other tasks, drawing on computing power that sits far outside its own body and stays reachable through a constant network connection.

Personal cars will finally leave the ground, turning a day's journey into minutes. Distance will stop being a limit, so people will settle land that was never fit for comfortable living. Indoors, the standalone monitor will disappear, replaced by augmented-reality glasses that lay a digital layer over everything around you, from a city street to a factory floor.

Computing and energy will grow so abundant that they will become basic civilizational infrastructure, as invisible and essential as the power grid is today. Medicine will shift to catching disease before the first symptom, and routine gene therapy will turn many inherited conditions into something ordinary, extending the healthy human lifespan.

Cities will stop being pure consumers of resources and start restoring the environment, pulling carbon out of the air. The most demanding manufacturing will move to or-

bit, where microgravity yields materials no Earth-bound process can match.

Farther out, regular cargo will run on fixed schedules between low orbit and the Moon, where water and oxygen are mined. The first rotating habitats will appear, built from lunar mass to house thousands of permanent residents and in time millions.

Some will bet on Mars, others on orbital settlements, many on both. Such is the nature of technological breakthroughs. The future gets built by many teams working in parallel, not to a single plan.

This is precisely the world set out in the 2025 «Technology Outlook» from the Tengchong Scientists' Forum, Huawei, and the Chinese Academy of Sciences, which treats household robots, flying transport, container-sized fusion, and lunar ring stations as concrete stages of development, not dreams. Serious industrial roadmaps around the world point the same way.

That Outlook names the dependency directly: none of it works without cheap, high-volume access to orbit. It's worth tracing why that one constraint sits under everything else.



What none of it works without

Break any of these forecasts apart, and the same dependency sits under every technology.

Take connectivity first. Autonomous fleets and distributed AI need reliable global connectivity that can coordinate millions of moving objects in three dimensions in real time. That calls for tens of thousands of LEO satellites connected via laser cross-links and tied into ground networks. There is no other way to build a truly global digital infrastructure.

The constraint on computing and energy is harsher still. Demand for computing is projected to grow a hundred thousand times over the next decade. On current architectures, that load would outstrip the world's energy supply by 2040. The engineering answer is new physics inside the chip: neuromorphic and quantum designs that deliver more performance per watt.

But efficiency has never once held demand back. The history of industrialization shows it plainly. More efficient steam engines raised coal consumption, just as more efficient cars increased total traffic volume.

Every leap in computing efficiency turned into a leap in demand for computing.

This is the Jevons Paradox, one of the most durable laws of technology. Make computing a thousand times cheaper, and humanity will not run the same workload for less. It will run hundreds of times more, and so will need more energy, more infrastructure, and more room to house them. When Earth runs short of room for new power plants and data centers, the next step is orbit. After it, the Moon.

The same logic reaches heavy industry. Producing certain optical fibers and ultra-pure crystals in microgravity is already proven in the lab. The obstacle is the cost of carrying raw material up to orbit and finished goods back down, not physics or technology.

So nearly every scenario for 2051 rests on one fundamental factor, even when it goes unnamed. Artificial intelligence, robots, and quantum computers are a superstructure that will sooner or later hit an energy ceiling. What decides the outcome is the cost and scale of access to space, where energy and room to grow are not bound by the resources of one planet.



The orbital economy, then, is measured by the tonnes of payload humanity can put into orbit each year, not by the number of launches. Tonnage to orbit is the baseline metric of the coming space economy.

Starlink was the first proof. Its success comes from the ability to deploy and replace a constellation at a scale most of the market cannot match, not from any uniqueness in the satellites. And Starlink is only the start. The coming economy needs tens, even hundreds of thousands of tonnes in orbit, which takes many operators, many rockets, and freight logistics on a new scale.

Without that layer, the rest stalls. It will mean flying cars remain sketches, computing

remains rationed, medicines never leave the lab, and Earth continues to carry a load that is already too heavy.

Many talk about the future of technology. Few build the infrastructure without which there is none.

The path is set, the physics is known

So what does building it take? Everything rests on cheap, high-volume access to orbit. Once that layer is secure, the rest follows: satellite networks serving billions, orbital data centers, observation systems, power platforms, and materials made in microgravity.

The next step is lunar mass, the first building material sourced off the planet. Lifting it from the Moon to high orbit costs a fraction of the energy needed to lift the same mass off Earth, and that changes the economics of space entirely.

From there we come back to the concepts Gerard O'Neill set out in the 1970s, now returning to serious engineering discussion: large rotating settlements at the Earth-Moon L4 and L5 Lagrange points, stable enough to hold with little station-keeping and built mostly from lunar material, providing artificial gravity and room to live for millions.

A common misconception is that the main challenge is building a better rocket. In fact, the rocket problem is largely solved. We know how to reach orbit, and we are learning to do it more cheaply and more often. The real barrier is energy.

And that is the gap. What we cannot yet do is generate power in space and build engines that use it well. Chemical engines are nearly perfect for one job, breaking free of Earth's gravity, and nothing in the foreseeable future will replace them there. But beyond low orbit the rules change. Moving large masses between orbits, the Moon, and other bodies in the Solar System is far more efficient with electric, plasma, and ion engines. They beat chemical propulsion by orders of magnitude, and they are hungry for the one thing space is short of: available power.

So the next frontier of the space economy is measured in megawatts, not in tonnes of

fuel or numbers of launches. The day humanity can generate and use megawatt-scale power in orbit reliably will be one of the great technological turns, the equivalent for space of the move from sail to steam. A rocket lets you leave Earth. Power turns the Solar System into an economy.

The destination is a matter of debate

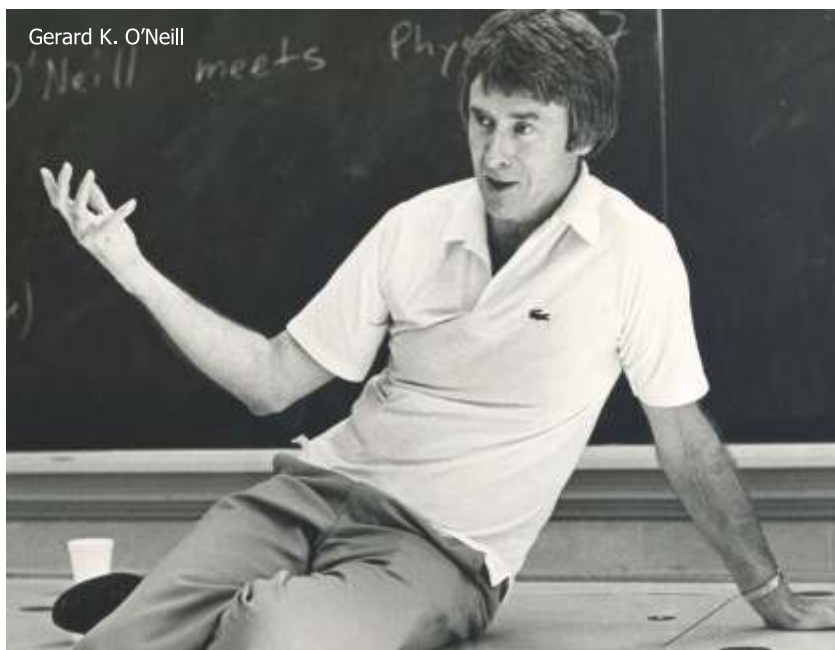
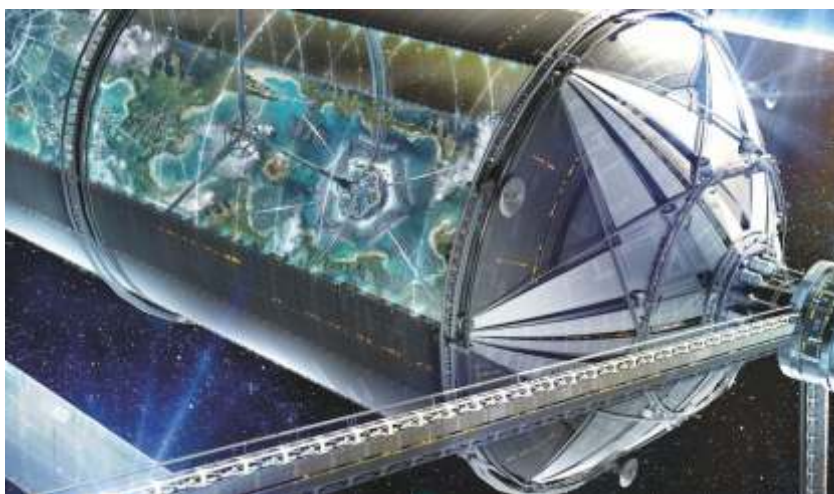
An economy on that scale needs somewhere to go, and where it should go is still argued. That is healthy. Asimov and Heinlein were among the first to imagine humanity spread across the Solar System; O'Neill turned that picture into an engineering proposal. Robert Zubrin's Mars Direct makes the case for settling Mars on local resources. Musk bet on the same destination, then built the rocket to reach it. Bezos went the other way, back toward O'Neill: heavy industry moved off-planet, millions living and working in space, Earth kept as the primary home.

Mars, though, is the hard case. The current evidence does not support terraforming it quickly. Research suggests the planet holds too little accessible carbon dioxide for the dense atmosphere and sustained warming that popular scenarios describe. We lean toward habitable stations: large orbital settlements at the Lagrange points, made from off-world materials, achievable on technology and physical laws we already understand.

What matters more is the spread of effort. Major breakthroughs come when many strong teams test competing hypotheses at once. Mars cities, lunar industry, Lagrange stations: a future built by many hands turns out larger and sturdier than one built by a single company or under a single flag.

Without compromising the goal

Whichever of these paths wins, they share one cost. Scaling launch volume carries a genuine environmental burden. Soot that rocket engines leave in the stratosphere lingers far longer than the same emissions at the surface, and metals from satellites burning up on reentry build up in the upper at-



mosphere. Today these effects are small next to aviation or power generation, but the infrastructure of a full space economy will work on a different scale, and then they will not stay small.

The answer is to cut the mass we lift from Earth, not to cap activity in space. That is why the long-term logic leads to off-world resources, manufacturing in orbit, and industrial use of the Moon. The more material is made and processed off the planet, the fewer of the heaviest pieces of future infrastructure have to be pushed up through the atmosphere. The impact gets relocated, not reduced.

The goal is to build in the right place.



What Aspire is building

Our task is to increase the throughput of space. Oryx is a fully reusable two-stage launch vehicle, designed for a high launch cadence and a steady rise in payload capacity. Its value lies in the capability to deliver payloads to and from space, not in a single record-breaking flight.

The project is based in the United Arab Emirates, a country that has shown serious ambition in space in recent years and is becoming one of the new centers of technology.

The engineering program is led by Sergey Sopov, one of the most experienced executives in the global space industry, who previously ran the international Sea Launch project and helped found Kazakhstan's national space agency.

One of the key elements is a new approach to propulsion. AI methods cut the design cycle sharply: what once took more than a year of engineering iteration now goes from a digital model to a physical test article in weeks. The roadmap manages risk in sequence, each stage lowering the risk of the next. The first engine firing is planned for 2026, with VTVL flight testing scheduled for 2028 and the first orbital launch targeted for 2031.

These milestones are part of a much larger effort. Our objective is to make delivering payloads to orbit more affordable, faster, and more accessible.

The future is already here

For sixty years space was the domain of rare, hard, expensive missions. Now it is becoming the foundation of the world economy. And the long-term expansion of human presence beyond Earth comes down to one condition: the ability to put payload into orbit regularly and in volume.

There is a more obvious reason, too. A civilization that reaches the limits of its expansion turns inward and begins to compete for what it already has. Space, by its nature, offers virtually unlimited room for expansion, allowing humanity to develop without exhausting the planet.

The next chapter of human history will be written beyond Earth. The more people, companies, and countries take part in writing it, the greater the result will be. But it will not arrive on its own. It is made by those who lay the foundation for everyone else. We are building that infrastructure from the very start. ■

Взгляд Aspire на ближайшие 25 лет в космосе

«Трудно сказать, что невозможно: вчерашняя мечта – это сегодняшняя надежда и завтрашняя реальность»

Роберт Х. Годдард (1904);

цит. по: Джерард К. О'Нил, *The High Frontier: Human Colonies in Space* (1976)

Стэн РУДЕНКО,

генеральный директор Aspire Space

К 2051 году домашний робот станет таким же привычным, каким сегодня является смартфон. Он приготовит ужин, поможет пожилому человеку встать с кресла, возьмет на себя десятки других задач, опираясь на вычислительные мощности, которые расположены далеко за пределами его корпуса и всегда доступны через постоянное соединение с сетью.

Личные автомобили наконец оторвутся от земли. Путь, на который раньше уходил целый день, займет минуты. Расстояние перестанет быть преградой, и люди заселят земли, прежде непригодные для комфортной жизни. Исчезнет как отдельное устройство монитор. Его заменят очки дополненной реальности, которые накладывают цифровой слой на все вокруг – от городской улицы до заводского цеха.

Вычисления и энергия появятся в таком изобилии, что превратятся в базовую инфраструктуру цивилизации – такую же незаметную и необходимую, как сегодня электросеть. Медицина начнет находить болезнь задолго до первого симптома, а рутинная генная терапия превратит многие наследственные заболевания в нечто обыденное, продлевая годы здоровой жизни.

Города перестанут быть только потребителями ресурсов и начнут восстанавливать среду, вытягивая углерод из воздуха. Самое требовательное производство уй-

дет на орбиту, где микрогравитация дает материалы, недостижимые ни в одном земном процессе.

Начнут движение регулярные грузоперевозки по фиксированному расписанию между низкой околоземной орбитой и Луной, где добывают воду и кислород. Появятся первые вращающиеся жилые модули, собранные из лунной массы, – сначала на тысячи постоянных жителей, а со временем на миллионы.

Кто-то сделает ставку на Марс, кто-то на орбитальные поселения, многие – на оба направления сразу. Такова природа технологических прорывов: будущее строит множество команд, работающих параллельно, а не по единому плану.





Именно такой мир описан в докладе «Технологические прогнозы и видение будущего до 2049 года», который подготовили Форум ученых Тэнчуна, Huawei и Китайская академия наук: домашние роботы, летающий транспорт, термоядерные установки размером с контейнер и лунные кольцевые станции рассматриваются там как конкретные этапы развития, а не мечты. Серьезные отраслевые дорожные карты по всему миру указывают в ту же сторону.

Этот доклад ученых акцентирует: ничего из перечисленного не работает без дешевого и массового доступа на орбиту. Стоит проследить, почему именно это ограничение лежит в основе всего остального.

Без чего это все невозможно

Разберите любой из этих прогнозов на части – и под каждой технологией обнаружится одна и та же зависимость.

Сначала о связи. Автономному транспорту и распределенному искусственному интеллекту нужна надежная глобальная связь, способная в реальном времени со-

гласовывать миллионы движущихся объектов в трех измерениях. А это десятки тысяч спутников на низкой околоземной орбите, соединенных лазерными каналами и связанных с наземными сетями. Другого способа построить действительно глобальную цифровую инфраструктуру нет.

Ограничение по вычислениям и энергии еще жестче. Спрос на вычисления, по прогнозам, вырастет в сто тысяч раз за ближайшее десятилетие. При нынешних архитектурах такая нагрузка к 2040 году превысит возможности мировой энергетики. Инженерный ответ – новая физика внутри чипа – нейроморфные и квантовые архитектуры, дающие больше производительности на ватт.

Но рост эффективности еще ни разу не сдерживал спрос. История промышленности указывает на это прямо. Более эффективные паровые машины подняли потребление угля, а более экономичные автомобили увеличили общий объем перевозок. Каждый скачок эффективности вычислений оборачивался скачком спроса на них.

Это парадокс Джевонса, один из самых устойчивых законов технологического развития. Сделайте вычисления в тысячу раз дешевле – и человечество не станет выполнять тот же объем за меньшие деньги. Оно станет считать в сотни раз больше, а значит, потребует больше энергии, инфраструктуры и места под них. Когда на Земле кончается место под новые электростанции и дата-центры, следующий шаг – орбита. За ней – Луна.

Та же логика доходит до тяжелой промышленности. Производство отдельных видов оптоволокна и сверхчистых кристаллов в микрогравитации уже подтверждено в лаборатории. Преграда – в стоимости доставки сырья на орбиту и готовой продукции обратно, а не в физике или технологии.

Поэтому почти каждый сценарий 2051 года опирается на один фундаментальный фактор, даже когда его не назы-

вают. Искусственный интеллект, роботы и квантовые компьютеры – надстройка, которая рано или поздно упрется в энергетический потолок. Исход решает цена и масштаб доступа в космос, где энергия и пространство для роста не ограничены ресурсами одной планеты.

А значит, орбитальная экономика измеряется тоннами полезной нагрузки, которые человечество способно выводить на орбиту за год, а не числом запусков. Тоннаж на орбите – базовый показатель будущей космической экономики.

Starlink стал первым доказательством. Его успех – в умении развернуть и обновлять группировку в масштабе, недоступном почти никому на рынке, а не в какой-то уникальности самих спутников. И Starlink – только начало. Будущей экономике нужны десятки, а то и сотни тысяч тонн на орбите, а это много операторов, много ракет и грузовая логистика совсем иного масштаба.

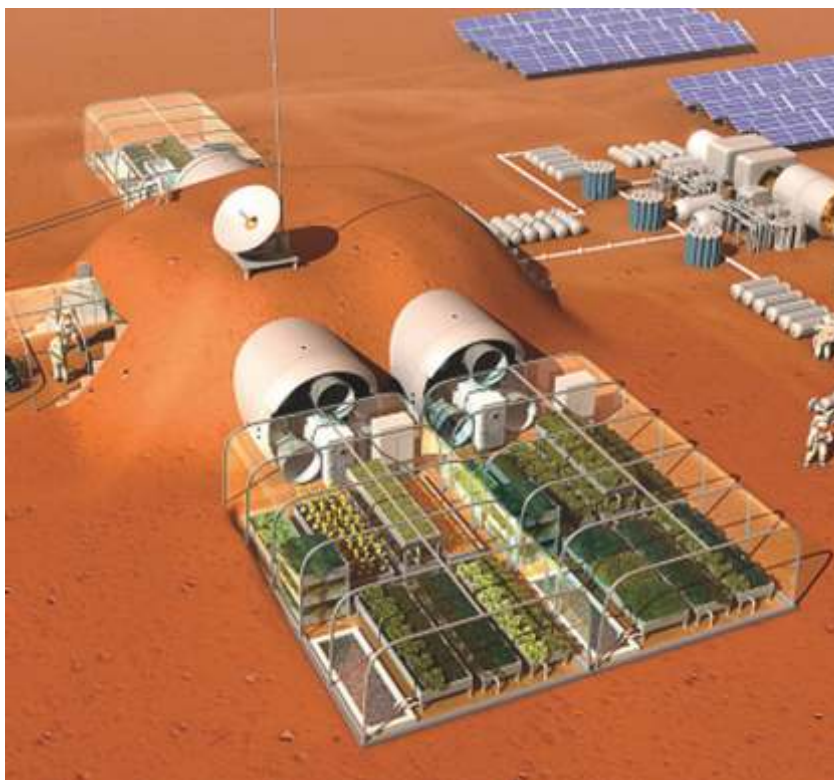
Без этого слоя все остальное буксует. Это значит, что летающие автомобили останутся эскизами, вычисления будут раздавать по квотам, лекарства не выйдут за пределы лабораторий, а Земля продолжит нести и без того непосильную нагрузку.

О будущем технологий говорят многие. Инфраструктуру, без которой его не будет, строят единицы.

Путь предопределен, законы физики известны

Что же нужно, чтобы это построить? Все держится на дешевом и массовом доступе на орбиту. Как только этот слой обеспечен, остальное следует за ним: спутниковые сети для миллиардов людей, орбитальные дата-центры, системы наблюдения, энергетические платформы и материалы, произведенные в микрогравитации.

Следующий шаг – лунная масса, первый стройматериал, добытый вне планеты. Поднять ее с Луны на высокую орбиту стоит доли той энергии, что нужна для подъема той же массы с Земли, и это полностью меняет экономику космоса.



Отсюда мы возвращаемся к идеям, которые Джерард О’Нил изложил еще в 1970-х и которые сегодня вновь входят в серьезные инженерные дискуссии: крупные вращающиеся поселения в точках Лагранжа L4 и L5 системы Земля – Луна, достаточно устойчивые, чтобы удерживаться почти без коррекции, и собранные в основном из лунного материала. Они дают искусственную гравитацию и место для жизни миллионов.

Распространенное заблуждение – будто бы главный вызов в том, чтобы построить ракету получше. На деле задача в основном решена. Мы умеем выходить на орбиту и учимся делать это дешевле и чаще. Настоящий барьер – энергия.

И вот в чем пробел. Чего мы пока не умеем – так это вырабатывать энергию в космосе и строить двигатели, которые ее эффективно используют. Химические двигатели почти идеальны для одной задачи – оторваться от земного притяжения, и в обозримом будущем их там нечем заменить. Но за пределами низкой орбиты правила меняются. Перемещать большие массы между орбитами, Луной и дру-

гими телами Солнечной системы гораздо выгоднее электрическими, плазменными и ионными двигателями. Они превосходят химические на порядки и жаждут того единственного, чего в космосе не хватает, – доступной энергии.

Поэтому следующий рубеж космической экономики измеряется в мегаваттах, а не в тоннах топлива или числе запусков. День, когда человечество сможет надежно вырабатывать и использовать на орбите мегаватты мощностей, станет одним из великих технологических переломов – тем же для космоса, чем переход от паруса к парю стал для флота. Ракета позволяет покинуть Землю. Энергия превращает Солнечную систему в экономику.

Конечная точка – предмет спора

Экономике такого масштаба нужно куда-то двигаться, куда именно – спорят до сих пор. И это здоровый спор. Азимов и Хайнлайн одними из первых вообразили человечество, расселившееся по Солнечной системе. О'Нил превратил эту картину в инженерный проект. Mars Direct Роберта Зубрина отстаивает заселение Марса на местных ресурсах. Маск поставил на ту же цель и построил ракету, чтобы ее достичь. Безос пошел другим путем, ближе к О'Нилу: тяжелую промышленность выносят за пределы планеты, миллионы живут и работают в космосе, а Земля остается главным домом.

Но Марс – трудный случай. Нынешние данные не подтверждают, что его можно быстро терраформировать. Исследования показывают, что доступного углекислого газа на планете, вероятно, слишком мало для плотной атмосферы и устойчивого потепления того масштаба, который рисуют популярные сценарии. Мы склоняемся к обитаемым станциям: крупным орбитальным поселениям в точках Лагранжа, собранным из внеземных материалов и достижимым на технологиях и законах природы, которые мы уже понимаем.

Но важнее другое – разнообразие усилий. Крупные прорывы случаются, ког-

да много сильных команд одновременно проверяют конкурирующие гипотезы. Города на Марсе, промышленность на Луне, станции в точках Лагранжа. Будущее, которое строит множество рук, оказывается больше и устойчивее того, что построено одной компанией или под одним флагом.

Без ущерба для цели

Какой бы из этих путей ни победил, у них общая цель. Рост числа запусков несет реальную нагрузку на среду. Сажа, которую двигатели оставляют в стратосфере, держится там куда дольше, чем такие же выбросы у поверхности, а металлы от спутников, сгорающих при входе в атмосферу, накапливаются в ее верхних слоях. Сегодня на фоне авиации и энергетики это мелочь, но инфраструктура полноценной космической экономики будет работать в ином масштабе – и тогда мелочью это быть перестанет.

Ответ – сокращать массу, которую мы поднимаем с Земли, а не ограничивать деятельность в космосе. Поэтому долгосрочная логика ведет к внеземным ресурсам, производству на орбите и промышленному освоению Луны. Чем больше материала производится и перерабатывается вне планеты, тем меньше самых тяжелых частей будущей инфраструктуры нужно поднимать сквозь атмосферу. Воздействие переносится, а не уменьшается.

Задача состоит в том, чтобы строить в правильном месте.

Что строит Aspire

Наша задача – увеличить пропускную способность космоса. Oryx – полностью многоразовая двухступенчатая ракета-носитель, рассчитанная на высокую частоту пусков и постепенный рост грузоподъемности. Ее ценность – в способности доставлять грузы в космос и обратно, а не в одном рекордном полете.

Проект базируется в Объединенных Арабских Эмиратах – стране, которая за последние годы заявила серьезные амби-



ции в космосе и становится одним из новых центров технологий.

Инженерную программу ведет Сергей Сопов, один из самых опытных руководителей мировой космической отрасли. Он руководил международным проектом Sea Launch и стоял у истоков Национального космического агентства Казахстана.

Один из ключевых элементов – новый подход к двигателям. Методы искусственного интеллекта резко сокращают цикл проектирования: то, что раньше требовало больше года инженерных итераций, теперь проходит путь от цифровой модели до физического испытательного образца за недели. Дорожная карта снижает риски последовательно, каждый этап уменьшает риск следующего. Первое огневое испытание двигателя намечено на 2026 год, летные испытания вертикального взлета и посадки (VTVL) – на 2028-й, первый орбитальный пуск – на 2031-й.

Эти этапы – часть гораздо большей работы. Наша цель – сделать доставку грузов на орбиту дешевле, быстрее и доступнее.

Будущее уже наступило

Шестьдесят лет космос был областью редких, трудных и дорогих миссий. Теперь он становится основой мировой экономики. А долгосрочное расширение присутствия человека за пределами Земли сводится к одному условию: возможности выводить полезную нагрузку на орбиту регулярно и в больших объемах.

Есть и более очевидная причина. Цивилизация, достигшая пределов своего расширения, замыкается в себе и начинает бороться за то, что уже имеет. Космос по природе своей предоставляет человечеству практически неограниченное пространство для роста, позволяя развиваться, не истощая планету.

Следующую главу истории человечество напишет за пределами Земли. Чем больше людей, компаний и стран примут участие в ее создании, тем масштабнее окажется результат. Но сам по себе он не наступит. Его создают те, кто закладывает фундамент для остальных. В строительстве этой инфраструктуры мы участвуем с самого начала. ■

On the Creation of an International Hot-Fire Test Center for Space Technology in Kazakhstan



Igor BOLDYREV,
Head of Organizational Management
and Compliance Department,
Aspire Space Limited LLC



Vadim SAMOYLOVICH,
Chief Operating Officer (COO),
Aspire Space Limited LLC



Oleg BALITSKY,
General Director of Aspire
Launch LLP

The global space industry has entered an era of structural transformation. Alongside state space programs, a commercial sector is growing fast, made up of hundreds of private companies developing launch vehicles, satellite constellations, propulsion systems, and space infrastructure.

Yet the test base remains the key element of any space program. Testing is where the engines' design characteristics are confirmed, system reliability is verified, design flaws are caught, and the safety of future launches is secured.

There is a saying common among space-industry specialists: **A test center is where rockets learn to fly.**

Despite rising demand, the number of modern test facilities worldwide stays limited. Most existing stands belong to state space agencies and serve national programs first. The result is high service costs, long waiting times, and limited access for commercial customers.

Against this backdrop, building an International Hot-Fire Test Center for Space Technology in Kazakhstan is of particular interest.

What the Global Test-Services Market Needs

Over the past decade, the space sector has changed fundamentally. The NewSpace model brought a wave of private companies developing space hardware.

These companies need a wide range of services:

- hot-fire testing of liquid-propellant rocket engines;
- testing of turbopump assemblies;
- checks of propellant feed systems;
- endurance testing of valves and piping;
- testing of cryogenic equipment;
- qualification testing of rocket-system components;
- testing of methane engines.

The largest test centers in the world are NASA Stennis Space Center (USA), DLR



Lampoldshausen (Germany), Westcott Venture Park (UK), NIC RKP (Russia), and a number of facilities in China and Japan.

Even these sites run under heavy load. On top of that, foreign companies' access to many of them is restricted by export-control and national-security rules.

The shortage is sharpest for engines running on the liquid oxygen and methane propellant pair. This technology is considered one of the main directions in the development of global spaceflight, owing to its high efficiency, cleaner operation, and suitability for reusable engines.

An independent test facility in Kazakhstan would close part of this gap and give companies from Europe, Asia, the Middle East, and other regions access to test infrastructure.

Kazakhstan as a Site for the Center

The country brings a rare combination of features that make it a strong site for an international test facility.

The first is Baikonur, the largest and best-known spaceport in the world. For more than seven decades it has built up engineering schools, a production culture, and a skilled workforce for the space industry.

The second is vast, sparsely populated steppe. Hot-fire testing of rocket engines needs large safety buffer zones and special

safety regimes, and Kazakhstan's geography allows for them without major constraints.

Another advantage is the country's developed transport infrastructure. International road and rail routes run through Kazakhstan, allowing oversized equipment to be shipped in from Europe, China, India, and the Middle East. International airports operate as well.

Energy and gas infrastructure matters too, supplying the test facility with electricity and propellant components.

Kazakhstan's geopolitical position counts as well. The country has long followed a multi-vector policy and maintains partnerships with states across many regions, which creates good conditions for international cooperation in space-hardware testing.

The best-suited regions for the center are Kyzylorda and Almaty. Kyzylorda has the advantage of sitting close to Baikonur, while Almaty offers a strong scientific and engineering base.

Concept of the International Test Center

The proposed center would be a multi-purpose facility for testing rocket hardware and high-tech industrial equipment.

At its core is a hot-fire test stand for liquid-propellant rocket engines with thrust up to 200 kN (20 tonnes).



The center would include the following functional clusters:

Hot-Fire Test Complex

This complex is built for:

- development testing of liquid-propellant engines;
- qualification testing;
- endurance testing;
- acceptance testing;
- combustion research.

The stand will measure thrust, propellant flow rates, temperature regimes, vibration characteristics, and the engine's operating parameters.

Propellant Feed System Test Complex

Built to test:

- valves;
- pressure regulators;
- pipeline fittings;
- tank pressurization systems;
- propellant lines.

Testing can run at normal conditions or with cryogenic components.

Turbopump Assembly Test Stand

The turbopump assembly is one of the most complex parts of a liquid-propellant rocket engine.

A dedicated stand will allow:

- pump testing;
- cavitation studies;
- rotor balancing;
- endurance testing of bearings;
- cooling-system development.

Cryogenic Test Complex

Cryogenic infrastructure opens up testing of:

- liquid-oxygen storage equipment;
- LNG storage systems;
- hydrogen technologies;
- low-temperature valves and fittings.

Materials Science and Non-Destructive Testing Laboratory

The lab handles:

- metallographic analysis;
- weld quality inspection;
- failure analysis;
- component life assessment;
- testing of additively manufactured parts.

Multi-Purpose Use as the Foundation for Sustainable Operation

One of the keys to running the center successfully is its multi-purpose design.

The infrastructure can serve not only the space industry but also the oil and gas sector, energy, and broader industry.

Possible lines of work include:

- testing of cryogenic valves for LNG projects;
- pressure-vessel testing;
- certification of pipeline equipment;
- pump-unit testing;
- research on hydrogen energy systems;
- testing of new materials and composites.

This approach keeps the facility busy and reduces its exposure to the space market's cycles.

International Experience

Around the world, test centers have become core parts of national innovation infrastructure.

The NASA Stennis test center in the USA is used to test engines for the Space Launch System program and for commercial rocket systems.

Germany's DLR Lampoldshausen runs the full test cycle for propulsion systems in European space programs.

The Westcott test center in the UK works closely with private companies and universities.

What the successful test centers share is multi-purpose use, a focus on international cooperation, and close ties to research and education.

A similar center in Kazakhstan would create a new Eurasian hub of world-class test infrastructure.

The Project's Value for Science and Education

The project is especially important for training engineers.

The center could become a hands-on base for Kazakhstan's universities, including Nazarbayev University, Satbayev University (the Kazakh National Research Technical University), and Al-Farabi Kazakh National University.

With real test infrastructure on hand, students and young researchers could take part in the full development cycle of space hardware, from mathematical modeling to full-scale testing.

In effect, the center could become the core of a national school of rocket-engine engineering and space-hardware testing.

Over the long term, this would let Kazakhstan train its own highly qualified space-industry workforce and take a more visible place in the global chain of space-technology development, earning the status of a full participant in the world space industry. ■



О создании Международного огневого испытательного центра космической техники на территории Казахстана

Игорь БОЛДЫРЕВ,
руководитель отдела организационного
управления и соблюдения требований
Aspire Space Limited LLC

Вадим САМОЙЛОВИЧ,
операционный директор Aspire
Space Limited LLC

Олег БАЛИЦКИЙ,
генеральный директор
TOO Aspire Launch



Мировая космическая отрасль вступила в эпоху структурной трансформации. Наряду с государственными космическими программами активно развивается коммерческий сектор, объединяющий сотни частных компаний, разрабатываю-

щих ракеты-носители, спутниковые группировки, двигательные установки и элементы космической инфраструктуры.

Однако, ключевым элементом любой космической программы остается испытательная база. Именно на этапе испытаний



подтверждаются расчетные характеристики двигателей, проверяется надежность систем, выявляются конструктивные недостатки и обеспечивается безопасность будущих пусков.

Среди специалистов космической отрасли широко распространено выражение: «Испытательный центр – место, где ракеты учатся летать».

Несмотря на возрастающий спрос количество современных испытательных комплексов в мире остается ограниченным. Большинство существующих стендов принадлежат государственным космическим агентствам и ориентированы прежде всего на выполнение национальных программ. Это оборачивается высокой стоимостью услуг, длительными сроками ожидания и ограниченным доступом для коммерческих заказчиков.

В этих условиях особый интерес представляет создание Международного огневого испытательного центра космической техники на территории Казахстана.

Потребности мирового рынка испытательных услуг

За последнее десятилетие космический сектор претерпел фундаментальные

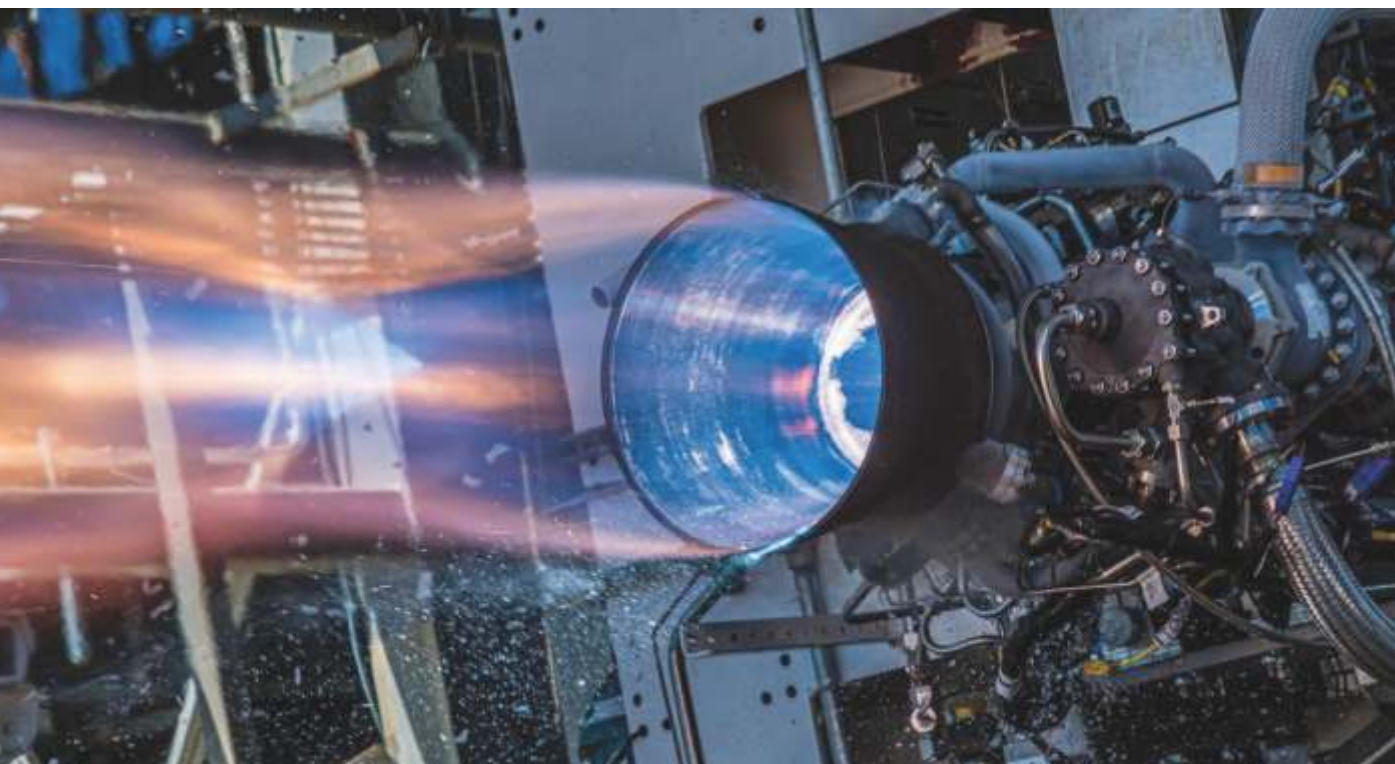
изменения. Концепция NewSpace привела к появлению большого количества частных компаний, разрабатывающих космическую технику.

Таким компаниям требуется широкий спектр услуг:

- огневые испытания жидкостных ракетных двигателей;
- испытания турбонасосных агрегатов;
- проверка систем подачи топлива;
- ресурсные испытания арматуры и трубопроводов;
- испытания криогенного оборудования;
- квалификационные испытания элементов ракетных комплексов;
- испытания метановых двигателей.

Крупнейшими мировыми центрами испытаний являются NASA Stennis Space Center (США), DLR Lampoldshausen (Германия), Westcott Venture Park (Великобритания), НИЦ РКП (Россия), а также ряд испытательных комплексов Китая и Японии.

Однако даже эти объекты работают с повышенной загрузкой. Кроме того, доступ иностранных компаний к ряду испытательных площадок ограничивается требованиями экспортного контроля и национальной безопасности.



Особенно заметен дефицит испытательной инфраструктуры для современных двигателей на топливной паре «жидкий кислород – метан». Данная технология считается одним из основных направлений развития мировой космонавтики благодаря высокой эффективности, экологичности и возможности многозарядового применения двигателей.

Создание независимого испытательного комплекса в Казахстане позволит частично закрыть данный дефицит и обеспечить доступ к испытательной инфраструктуре компаниям Европы, Азии, Ближнего Востока и других регионов.

Преимущества Казахстана как площадки для размещения испытательного центра

Республика обладает уникальным набором характеристик, позволяющих рассматривать ее как оптимальную площадку для размещения международного испытательного комплекса.

Главным преимуществом является наличие космодрома Байконур – крупнейшему и наиболее известному космодрому мира. На протяжении более чем шести

десятилетий здесь формировались инженерные школы, производственная культура и кадровый потенциал космической отрасли.

Вторым важным фактором являются обширные малонаселенные степные территории, поскольку огневые испытания ракетных двигателей требуют значительных санитарно-защитных зон и специальных режимов безопасности. Географические особенности Казахстана позволяют организовать такие зоны без существенных ограничений.

Дополнительным преимуществом является развитая транспортная инфраструктура Казахстана. Через страну проходят международные автомобильные и железнодорожные маршруты, обеспечивающие доставку крупногабаритного оборудования из Европы, Китая, Индии и стран Ближнего Востока. Также функционируют международные аэропорты.

Немаловажным фактором является наличие энергетической и газовой инфраструктуры, обеспечивающей испытательный комплекс электроэнергией и компонентами топлива.

Следует отметить и геополитическое положение Казахстана. Страна традиционно придерживается многовекторной политики и поддерживает партнерские отношения с государствами различных регионов мира, что создает благоприятные условия для международного сотрудничества в области испытаний космической техники.

Наиболее подходящими регионами для размещения испытательного центра являются Кызылординская и Алматинская области. Первая обладает уникальным преимуществом благодаря близости к комплексу Байконур, тогда как вторая располагает развитой научной и инженерной базой.

Концепция Международного испытательного центра

Предлагаемый испытательный центр должен представлять собой многофункциональный комплекс, предназначенный для проведения испытаний ракетной техники и высокотехнологичного промышленного оборудования.

Основой комплекса станет огневой испытательный стенд для жидкостных ракетных двигателей тягой до 200 кН (20 тонн).

В состав центра предлагается включить следующие функциональные кластеры:

1. Огневой испытательный комплекс

Комплекс предназначен для проведения:

- доводочных испытаний ЖРД;
- квалификационных испытаний;
- ресурсных испытаний;
- приемо-сдаточных испытаний;
- исследований процессов горения.

Испытательный стенд должен обеспечивать измерение тяги, расходов компонентов топлива, температурных режимов, вибрационных характеристик и параметров рабочего процесса двигателя.

2. Комплекс испытаний систем подачи топлива

Предназначен для проверки:

- клапанов;



- регуляторов давления;
- трубопроводной арматуры;
- систем наддува баков;
- топливных магистралей.

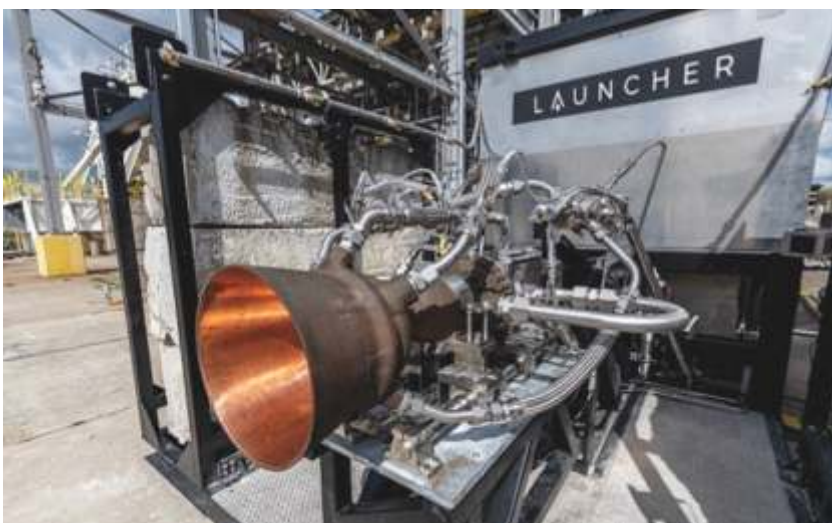
Испытания могут проводиться как при нормальных условиях, так и с использованием криогенных компонентов.

3. Стенд испытаний турбонасосных агрегатов

Турбонасосный агрегат является одним из наиболее сложных элементов жидкостного ракетного двигателя.

Специализированный стенд позволит проводить:

- испытания насосов;
- исследования кавитации;
- балансировку роторов;
- ресурсные испытания подшипников;
- отработку систем охлаждения.





4. Криогенный испытательный комплекс

Наличие криоинфраструктуры открывает возможности испытаний:

- оборудования для хранения жидкого кислорода;
- систем хранения СПГ;
- водородных технологий;
- арматуры низкотемпературного исполнения.

5. Лаборатория материаловедения и неразрушающего контроля

Лаборатория предназначена для:

- металлографического анализа;
- контроля качества сварных соединений;
- исследований разрушений;
- оценки ресурса деталей;
- испытаний изделий аддитивного производства.

Многофункциональность как основа устойчивого развития

Одним из ключевых факторов успешной эксплуатации центра должна стать его многофункциональность.

Создаваемая инфраструктура может использоваться не только для нужд космической отрасли, но и для решения задач нефтегазового сектора, энергетики и промышленности.

Возможные направления деятельности включают:

- испытания криогенной арматуры для СПГ-проектов;
- испытания сосудов высокого давления;
- сертификацию трубопроводного оборудования;
- тестирования насосных агрегатов;
- исследования водородных энергетических систем;
- испытания новых материалов и композитов.

Такой подход обеспечивает высокую загрузку объекта и снижает зависимость от цикличности космического рынка.

Международный опыт

Мировая практика показывает, что испытательные центры становятся важнейшими элементами национальной инновационной инфраструктуры.



Испытательный центр NASA Stennis в США используется для испытаний двигателей программ Space Launch System и коммерческих ракетных систем.

Немецкий центр DLR Lampoldshausen выполняет полный цикл испытаний двигательных установок европейских космических программ.

Испытательный центр Westcott в Великобритании активно сотрудничает с частными компаниями и университетами.

Объединяющим фактором всех успешных испытательных центров является их многофункциональность, ориентация на международное сотрудничество и тесная интеграция с научно-образовательной средой.

Создание аналогичного центра в Казахстане позволит сформировать новый евразийский узел испытательной инфраструктуры мирового уровня.

Научно-образовательное значение проекта

Особое значение проект имеет для подготовки инженерных кадров.

Испытательный центр может стать практической базой для университетов Казахстана, включая Назарбаев Университет, Казахский национальный исследовательский технический университет имени Сатпаева и Казахский национальный университет имени аль-Фараби.

Наличие реальной испытательной инфраструктуры позволит студентам и молодым исследователям участвовать в полном цикле разработки космической техники – от математического моделирования до проведения натурных испытаний. Фактически центр может стать ядром формирования национальной школы ракетного двигателестроения и испытаний космической техники.

В долгосрочной перспективе это позволит Казахстану не только готовить собственные высококвалифицированные кадры для космической отрасли, но и занять более заметное место в глобальной цепочке создания космических технологий, приобретя статус полноценного участника мировой космической индустрии. ■

Когда ракеты возвращаются.

Как меняется космический рынок и где в нем Казахстан

Почему одноразовые ракеты уходят в прошлое, как SpaceX изменил рынок запусков и какие шансы остаются у Байконура.



Энергия-Буран

Во всем мире отмечают 65-летие первого полета человека в космос. И крупнейший в мире казахстанский космодром, который переживает сегодня не лучшие времена, имеет к этому полету самое непосредственное отношение.

12 апреля 1961 года с Байконура в космос отправился Юрий Гагарин, открыв дорогу пилотируемым полетам и закрепив за казахстанской степью статус одного из ключевых объектов мировой космонавтики.

Спустя десятилетия Байконур остается символом этого прорыва, но его настоящее уже не выглядит однозначным. Конкуренция на глобальном рынке запусков усиливается, технологии меняются, а сама

отрасль переживает глубокую трансформацию. Мировая космонавтика уходит от одноразовых ракет к многоразовым системам, где на первый план выходят экономическая эффективность, скорость подготовки запусков и возможность повторного использования дорогостоящих ракет.

На этом фоне перед Байконуром и Казахстаном встает вопрос о новой роли в космической индустрии. Речь идет не только о сохранении исторического наследия, но и о попытке стать участником высокотехнологичного рынка запусков – через развитие международного сотрудничества, привлечение частных компаний и участие в новых проектах.

Одним из таких проектов может стать сотрудничество с компанией Aspire, которая планирует запускать с Байконура многоразовые системы.

О перспективах космодрома, будущем отрасли и возможностях для Казахстана, многоразовых ракетах и секретах технологий корреспондент Informburo.kz говорила с техническим директором компании Сергеем Соповым – человеком, который многое сделал для становления космонавтики независимого Казахстана и сегодня участвует в ее новом этапе.

– Сергей Алексеевич, вы часто озвучиваете тезис, что одноразовая ракета подобна одноразовому авиалайнеру. Почему на протяжении десятилетий человечество мирилось с таким расстоянием? Что стояло на пути освоения многоразовых технологий?

– На первом этапе никто и не хотел спасать ракеты. Потому что изначально перед новой отраслью ставились военные задачи. Нужно было, условно, доставить ядерную бомбу на территорию вероятного противника. Если с нашей территории, то до США. У Штатов, соответственно, была другая схема. Они не делали ставку на ракеты, а использовали дальнюю авиацию.

В это время у нас был Королев, который создал баллистическую ракету Р-7. «Союз» так называемый. Это все одно семейство.

То есть мы космосом в большей степени обязаны тем, что Королев сделал ракету, которая по своим энергетическим характеристикам оказалась больше, чем было нужно.

Для нее у военных не было подходящих задач, потому что она, во-первых, очень сложная в подготовке к пуску, во-вторых, на ней можно выводить достаточно тяжелый вес, порой избыточный для чисто военных задач. Под космические же проекты она нормально легла с точки зрения своих веса и тяговых энергетических характеристик. Сейчас у нее стартовая

Сергей Алексеевич
Сопов



Спейс Шаттл

масса – 313 тонн. И выводит она около 8,5 тонны на низкую опорную орбиту.

А когда мы стали развивать гражданскую космонавтику, сразу встал вопрос ресурсов. Вообще, любой конструктор, который делает ракету, понимает, что это ракета, и понимает, что это труд одноразовый.

Представьте, сложнейшую ракету собирает коллектив в белых халатах. Там стерильно, как в лаборатории, используются редкие металлы и сплавы. И после единственного полета, доставки на низкую опорную орбиту одной тонны полезного груза эта ракета исчезает. Она же одноразовая.

И тогда на гражданском этапе начали задумываться о том, что надо создавать

многоразовые системы. Так в СССР появилась «Энергия-Буран», а у американцев – «Спейс Шаттл».

– Как известно, полностью многоразовым стал в обоих проектах орбитальный корабль. И в то же время не удалось обойтись без одноразовых компонентов систем: водородного бака у американцев, второй ступени с маршевыми двигателями у нас. В чем причины такого технического компромисса? Считаете ли, что он был в те годы неизбежен?

– Американцы использовали двигатели и на старте, и при посадке «Спейс Шаттла». Был одноразовый бак к этому кораблю, огромный бак с кислородом и водородом. Но этот бак соединялся с кораблем, и на этом корабле были двигатели. И были два боковых твердотопливных ускорителя, которые отстыковывались, падали в океан, и их потом транспортировали к месту пуска и обслуживания.

Они были многоразовые. Таким образом, это была частично многоразовая система, у которой центральный бак был одноразовый, а все остальное возвращалось. В СССР начали проектировать эту систему, появилась идея сделать универсальную ракету, которая выводила бы не только корабль.

То есть у американцев кроме корабля эта система больше ничего выводить не могла. Таким образом, вы туда могли погрузить 24,4 тонны, доставить их на орбиту, и все.

В СССР было принято решение сделать универсальную ракету, которая могла выводить и корабль, и какой-то космический груз, например космический аппарат. В связи с этим на центральном блоке были свои двигатели, а на корабле двигателей подобного рода не было.

И у нас спасались четыре боковых блока. Это первая ступень «Зенита». Центральный блок с двигателями дорогостоящими кислородно-водородными был одноразовый. Все это вместе с кораблем получило название – многоразовая космическая си-

стема «Буран» (1K11K25), а ракета стала известна как универсальная ракетно-космическая транспортная система «Энергия-Буран». Это был первый опыт создания многоразовых систем в Советском Союзе.

Во всех этих мероприятиях мы не могли решить основную проблему. У вас есть ракетная система, она двухступенчатая. Первую ступень вы хотите спасти. Условно говоря, если ракета-носитель среднего класса до 450–500 тонн максимальной взлетной массы, то первая ступень разгоняет вторую ступень и полезную нагрузку до их отделения на скорости примерно 2,2–2,7 км/с. Вот с этой скоростью эта наша первая ступень и должна вернуться на Землю. И основная проблема заключалась в том, как ее сохранить и вернуть.

Никто не рассматривал до Илона Маска вариант ракетно-динамической посадки на своих штатных двигателях. Все рассматривали парашютную систему или приделывали к этой ступени крылья. Вот блоки А на «Энергии» должны были садиться на парашютах. Сложнейшая система, очень неуклюжая, громоздкая, но парашютная. Варианты предлагались разные.

Вопрос посадки первой ступени был центральной проблемой из-за нагрева. Дело в том, что при посадке ступень при скорости, допустим, три километра в секунду несет перед собой огромный уплотненный воздух, нагретый до тысяч градусов Цельсия. Другими словами, аэродинамическое сжатие воздуха (главный фактор). Перед ступенью воздух резко сжимается, образуя ударную волну. Сжатый воздух нагревается до 800–1500°C. В общем, Илону Маску удалось решить ту проблему, и сейчас у него какая-то ступень используется уже 35 раз. Представляете, какова стоимость ступени, если ее использовать столько раз? Она очень дешевая. После этого попробуйте соревноваться с Маском, если у вас одноразовая ракета.

Только ракетная часть ракеты-носителя «Зенит» будет стоить примерно 36–40 млн долларов. Плюс операции по подготов-



ке, плюс интеграция, головной обтекатель, разгонный блок. В общем, все по круту у вас получится, допустим, 60 млн. Иногда до 70 млн доходит, если пускать ракету среднего класса. И как бороться с Илоном Маском, когда у него стоимость изготовления новой второй ступени и обтекателя около 15 млн долларов? Ответ: никак.

Поэтому, если вы посмотрите на структуру рынка полезных нагрузок, то выясните, что вообще-то он практически на 90% занят Илоном Маском. Коммерческие спутники выводит исключительно SpaceX.

– «Зенит» как остаток проекта «Энергия-Буран», его существование в постсоветский период, Морской старт и Наземный старт. Было ли серьезное будущее у этого ракетного комплекса, если исключить политику?

– Это просто невозможно. Нельзя пытаться конкурировать на ракете прошлого века, потому что она одноразовая. Это основа всего.

До появления Falcon-9 (ракета-носитель, разработанная компанией SpaceX Илона Маска) царствовали «Зенит» и «Протон». В первую очередь, конечно, «Протон». Он был достаточно дешев, его было много, к нему был доступ, и он выводил до 20 тонн на низкую опорную орбиту. «Зенит» был дороже на 10–15%. Но самое важное, «Зенит» не был массовым.

Программу «Зенит» на космодроме Байконур свернули после развала Союза, а вот на Морском старте (плавучий космодром для запуска ракет семейства «Зенит», созданный международным консорциумом в 1995 году) он был реализован.

Потому что у «Зенита» есть опция автоматического безлюдного старта. Это когда все предстартовые операции ведутся автоматически, реализована концепция автоматического безлюдного старта. Именно это стало одним из самых серьезных аргументов для реализации проекта «Морской старт» с использованием «Зенита».

Зенит



Илон Маск со своим
детищем Falcon-9

То есть было три крупных игрока на зарождающемся рынке вывода полезных грузов. «Протон» – номер один, номер два – Ariane (ракета-носитель Европейского космического агентства) и «Зенит» на Морском старте. Ariane – тяжелая ракета, которая выводила около 20 тонн на низкую опорную орбиту.

«Зенит» был слишком сложен с точки зрения организации пусков, то есть необходимо было погрузить все на корабли и плыть практически 6 тысяч км на экватор от Лос-Анджелеса по морю. Ну а «Протон» был доступен на космодроме Байконур. У него был и остается один-единственный недостаток – токсичное топливо.

И только с появлением Falcon-9 от Маска все стало меняться.

– Лидеры новой эпохи – SpaceX и его Falcon-9. Что самое главное смогли сделать создатели Falcon-9, обеспечив революцию в средствах выведения? В чем их заслуга?

– В массовости. В том, что они нашли решение по удешевлению пусков. Мало вернуть ступень, нужно еще научиться ее очень быстро и качественно обслужить,

чтобы она пошла второй раз в полет, третий, четвертый. Повторное использование ступеней очень важно.

В этом заслуга создателей Falcon-9. Кроме того, они показали стратегический путь всем, в каком направлении нужно развиваться.

Сейчас весь мир идет путем создания многоразовой первой ступени. Разрабатывать ракеты-носители одноразовыми, как «Союз-5» – это запоздалое решение, на мой взгляд. Дело в том, что «Союз-5» не сегодня разрабатывали, а лет 15 назад и закладывали его без функционала многоразовости. А когда ты сделал ракету одноразовую, приделать к ней многоразовость уже невозможно.

– Ракетодинамическая посадка ступеней, реализованная SpaceX и Blue Origin. Вспомним, что «Шаттл» и «Буран» совершали посадку на крыльях. Назовите плюсы и минусы того и иного варианта. Есть ли будущее у крылатых аппаратов?

– Можно использовать все что угодно, но лучше использовать максимально то, что является оптимальным и не создает новые сущности. У вас есть транспортная космическая система, в рамках которой все должно работать. Но когда вы используете, допустим, крылатый аппарат, то назад возвращается самолет. А это новая сущность. У него появляется шасси, система навигации, для него аэропорт специальный оборудован, он ведь не сможет садиться где угодно.

То есть эту инфраструктуру вы подтачиваете из другой отрасли – авиации. А зачем?

В ракетно-космической технике центральная позиция – это масса, то есть вес, потому что вы все время боретесь с земной гравитацией. Еще есть такое понятие, как конструктивное совершенство. То есть это отношение сухой массы системы к общей, включая массу полезной нагрузки к общей.

Вот от всей массы, которая есть у ракеты-носителя, у вас полезная нагрузка со-



ставляет 4%, не больше. Вот мы, ракетчики, все крутимся вокруг одной проблемы – сухой массы конструкции, как сделать систему легче при одних и тех же задачах.

Когда же вы начинаете делать ракетный самолет, то у него задача только одна – вернуться на аэродром. Но прежде чем он сядет, вы крылья, шасси, хвосты, всю эту систему навигации тащите вверх, в космос, чтобы в последние пять-шесть минут оно сработало. То есть вы назад возвращаете самолет, который вам не нужен.

Вот Илон Маск и объяснил нам всем: зачем возвращать как самолет? Давайте будем возвращать ракету. Как она стартует, в том же виде она и сядет.

У него первая ступень Falcon-9 на двигателях взлетает с топливом и садится на этих же двигателях с этим же топливом. Единственное, что добавляется, – четыре ноги, на которые он должен сесть.

– Теперь о проекте *Aspire*, в котором вы участвуете. На Байконуре вы в том числе участвовали в создании «Энергии-Бурана». Как отличается нынешняя работа по созданию многоразовых систем

от того, что было тогда, много-много лет назад?

– Отличается кардинально. Я бы сказал, что последние три-четыре года я непрерывно учусь. То, что сегодня для молодежи кажется естественным, для нас, старшего поколения, не очень понятно.

Я раньше не мог понять и принять, что какая-то группа специалистов молодых может взять за основу действующую модель, которая существует на базе цифровых технологий для создания чего-либо для космоса.

Я представить себе этого не мог. Но недавно познакомился с передовой компанией LEAP 71, которая имеет на вооружении алгоритм создания сложных конструкций на базе искусственного интеллекта. Для меня это очень серьезный технологический прорыв. Как программа может за две недели нарисовать камеру сгорания, создать документацию, отправить это на 3D-принтер, распечатать и через три недели все прожечь?

Для того чтобы это сделать в прежней системе координат, где я работал, требовались год-полтора.

Многоразовая ступень Falcon-9 садится на платформу



Морской старт

И это сегодня то, над чем мы работаем. Мы собираемся через три года провести испытания с запуском корабля на одном из таких двигателей. Уже живьем с 90-й площадки Байконура.

– Что уникального закладывают в свое детище конструкторы новой системы? Ее сильные стороны?

– Мы конкурируем сами с собой за то, чтобы освоить новые способы и принципы проектирования, применять их в жизни и пытаться создать лучшее, на что способны.

Мы тоже пытаемся, как Илон Маск, создать многоразовую систему – и первую, и вторую ступень.

Это будущее. И я хочу сказать, что проблемы, с которыми мы сталкиваемся с точки зрения разработки многоразовой второй ступени, конечно, грандиозные.

Я понимаю, что делает Маск, пони-

маю, что делаем мы, и понимаю, что у нас проблемы одинаковые. У нас подходы с точки зрения материала, с точки зрения некоторых тонких вещей, термодинамики, аэродинамики немного разные, но физически условия, в которых мы существуем, одинаковые. То есть первая и вторая ступень Starship'a точно так же, как и наша вторая ступень с точки зрения физических условий, наша ступень, летящая со скоростью 7,66 км/с, должна назад вернуться и сесть. Причем ни у него, ни у нас нет крыльев. То есть мы не пытаемся посадить ступень по-самолетному.

Мы используем те же самые принципы, что на первой ступени. Первая ступень садится так же, как и первая ступень Falcon-9, то есть на свои посадочные опоры. В данном случае у нас есть преимущество, мы посадку будем осуществлять внутри Казахстана, а это земля, не море. Земля не колыхается, у нее там нет 3–4 бал-

лов волны, там платформа никуда не уезжает, где кол забили, там и будем сажать.

– Какой облик будет у космических транспортных систем в ближайшем будущем? Каким вы видите будущее освоения космоса?

– Мы сейчас подошли к пределу технологических возможностей использования химических двигателей для вывода на низкую опорную орбиту полезных нагрузок. Это самый эффективный способ по тяге, удельному импульсу и задачам, которые мы ставим перед собой как сейчас, так и в будущем. Я не вижу возможности замены двигателей чем-то другим.

Химический двигатель очень эффективен при выводе с поверхности Земли на низкую орбиту, но он неэффективен для полетов между планетами – к Луне или Марсу. Здесь это тупиковая вещь. На нем мы никуда по нашей Солнечной системе не полетим. Поэтому, скорее всего, появятся аппараты на базе плазменных, электрических, ионных двигателей.

Чем отличаются электромагнитные или плазменные двигатели? У них очень низкая тяга доли килограммов, несколько килограммов, может, десятки килограммов. Но при этом удельный импульс превышает в десятки раз, а это центральная вещь. Этот двигатель может работать часами, сутками, постепенно наращивать скорость космического корабля. Вот это будущее. Другими словами, будущее за теми, кто сумеет вывести и использовать на орбите источники энергии, скажем, мощностью 1 МВт.

– На ваш взгляд, какие новые задачи могут появиться у космонавтики в обозримом будущем?

– Что заставляло первых мореплавателей – Магеллана или Колумба – открывать новые земли? В то время были ведь и другие – десятки, если не сотни таких же точно, только безвестно пропавших. Конечно, это были попытки найти новые колонии, источники наживы. Ну и второе,

эти люди были любопытными, готовыми платить деньги за новые знания.

Иначе зачем мы запускаем телескопы? Потому что нам это интересно.

Человек все равно будет осваивать космическое пространство: сначала Луну, Марс, потом дальше. Потом он будет думать, как переформатировать Венеру, чтобы она стала более приемлемая для жизни. Чтобы там было не 450 градусов жары, а, скажем, 50–60 градусов.

Маловероятно, что на тех планетах кто-то будет нас воспринимать как инопланетян. Но мы станем де-факто и де-юре инопланетянами в ближайшее время. Люди полетели к Луне спустя почти 57 лет с момента первой высадки человека там. Ничего за эти годы нового не произошло, и вот сейчас повторно. Надеюсь, что это уже не единичный подвиг, это превратится в некую систему.

На этом пути огромное количество трудностей. Мы понимаем, что человек как существо биологическое не может выдерживать длительные космические полеты. Неважно, на каком аппарате он полетит. Он не может долго работать на поверхности Луны или Марса, он должен защищаться от радиации.

Даже полет к Марсу в настоящее время смертельно опасен для людей из-за того, что там действует постоянная радиация. Но, с другой стороны, там, где большая неопределенность, где искусственный интеллект и его последующее развитие не смогут помочь, там будут работать люди, потому что человек очень универсальный и очень гибкий по своей природе.

Человек не остановится в процессе освоения пространства вокруг и получения новых знаний. Это встроено в нас и никуда не денется. Впереди огромные свершения и целый мир неизведанного. Только нам надо уже понять, что все это возможно, если все мы на Земле забудем о войнах и распрях, потому что эта задача не для отдельной нации, а для всего человечества.

Informburo.kz

A «Thrust» to the Stars:

Private Space in the Republic of Kazakhstan



Introduction

Private space is most often associated with rockets, satellites, and launches. However, for an early-stage aerospace team, the first real barrier arises earlier – at the physical validation stage. Designing an engine, valve, tank, or control system is becoming easier today thanks to accessible CAD tools, open-source computational packages, and AI assistants. But proving the operability of these solutions without rigs, sensors, telemetry, safety regulations, and a test bed is impossible.

Thrust LLC is a young aerospace startup that began as an engineering initiative of a small team and subsequently found its practical niche: a mobile test infrastructure for high-energy systems. Initially, the LETS-1.1 system was created as an internal tool for testing the combustion chamber, pneumatic hydraulic system (PHS), automation, and engine control system. However, during development, it became clear that the test infrastructure itself could be a standalone product – in demand not only by rocket teams but also by developers of complex industrial equipment.

We present to your attention a brief history of Thrust LLC – an example of how a young NewSpace startup is gradually moving from rocket modeling to creating a basic infrastructure layer for Kazakhstan's future private aerospace industry.

1. From engineering initiative to testing infrastructure

From the very beginning, Thrust LLC developed as a classic garage startup with a strong IT component, rather than following the model of a design bureau or research institute. The core team consisted of five people: two engineers, two programmers, and a data analyst. The initial investment was approximately \$30,000 – a level comparable to a serious technical hobby, sufficient for the first practical experiments.

The first test of the team's ability to work as a unified engineering group was the development and launch of a solid-fuel rocket model. In two weeks, aerodynamic calculations were completed, airframe components were 3D-printed, onboard electronics were assembled, and wireless telemetry transmission was tested. The successful launch confirmed that a small team can quickly move from a simulation model to a physical product.

The next frontier – a liquid-fueled sub-orbital rocket – revealed a more fundamental problem: onboard automation systems cannot be reliably designed without testing them in real high-pressure circuits. Verifying valves, actuators, control algorithms, and emergency protection required a dedicated test facility.

Thus, the project's focus shifted from a direct approach to a suborbital rocket to the creation of what such a rocket requires to launch – test infrastructure. The team needed an environment where they could safely test the pneumatic hydraulics, automation, launch and abort sequences, and telemetry quality before moving on to full-scale propulsion and flight testing.

Therefore, the project's development proceeded through successive engineering



prototypes: first, computational models and minimal onboard software, then the assembly and launch of a model rocket to test the team's ability to bring prototypes to a working state, and finally, a test rig. Its first garage assembly on a wooden frame was not a production vehicle, but a rapid prototype (MVP in IT terminology) to test the circuit layout, control logic, data collection, and safety procedures.

Following this validation, the team moved to an industrial facility, where the rig was disassembled, cleaned, reassembled under controlled conditions, and prepared for deployment of LETS-1.1 at testing sites in the Republic of Kazakhstan.

2. IT development paradigm and cleanliness regulations

The key differentiator of Thrust LLC's approach is the transfer of modern software development practices to hardware R&D. For an early-stage startup, short engineering cycles are critical, with each iteration resulting in a measurable result: a pressure-tested

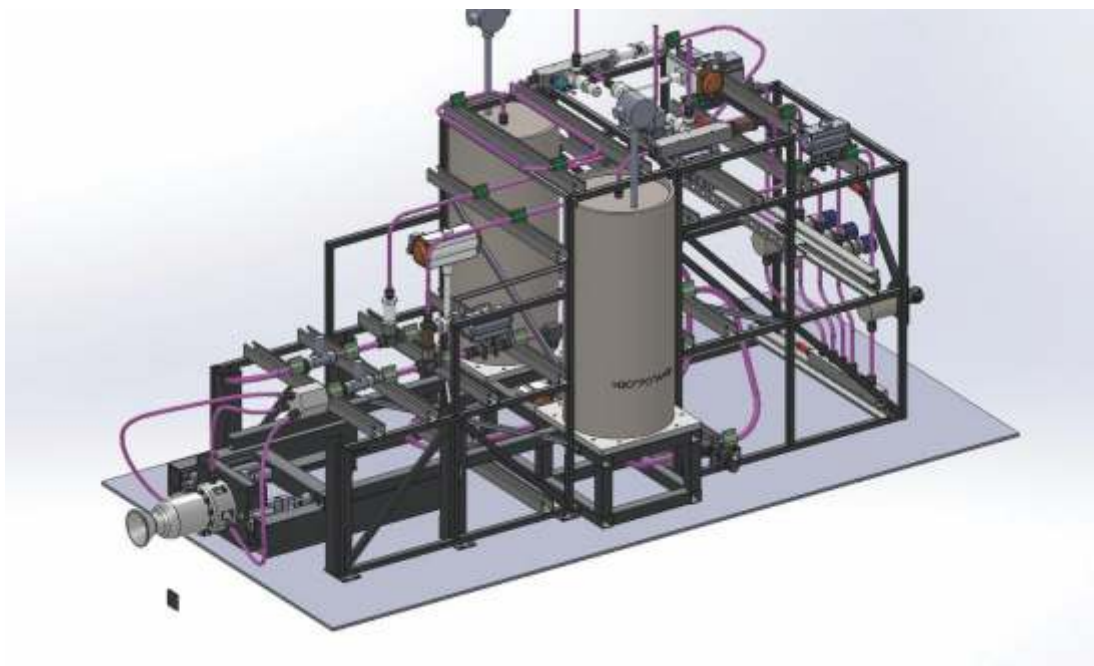
section of the PHS, a calibrated sensor, a verified ADC driver, a debugged valve block, or a new set of experimental data.

PHS schematics, board layouts, parametric 3D models, and controller configurations are stored in Git repositories. Test results are recorded in a time series database for subsequent analysis and comparison with simulation models. Critical components are first modeled or emulated in a semi-realistic test mode, then verified on real hardware.

A separate stage involved establishing cleanliness regulations. The first mock-up assembly took place in a garage: manual bending of stainless steel pipes, routing of cable routes, assembly of power cabinets, and initial component mating checks. During the move to a cleanroom in the spring of 2025, the rig was completely disassembled, transported, and prepared for reassembly.

The main challenge was maintaining the cleanliness of the internal surfaces of pipelines, valves, and gas and gas mixture components. Organic contaminants, oils, fluxes, and mechanical particles pose critical risks

Modular test stand LETS-1.1 for testing liquid propellant rocket engines



CAD model of the
LETS-1.1 stand

when working with oxidizers and high-pressure gases. Therefore, the team implemented a multi-stage preparation process: mechanical cleaning, ultrasonic degreasing, deionized water rinsing, drying according to industry oxygen purity standards, and UV contamination monitoring.

The transition from a «garage» approach to regulated equipment preparation has become one of the key markers of the project's maturation. A culture of working with high-energy systems is formed not by declarations, but by documented procedures and multi-level control of all processes.

3. Architecture of the test site and the LETS-1.1 complex

The test site was designed as an infrastructure that could be gradually expanded to accommodate various types of rig tests. The site's basic infrastructure – from foundation preparation to the first test run of the rig with a mock combustion chamber– was installed, pressure-tested, and commissioned in four days.

The test module is a container with a frame for rigidly mounting the LETS series rig. The rig is delivered to the site, secured, connected to utilities, and after a series of tests can be dismantled for flaw detection,

upgrades, or storage. Gas and cryogenic stations are located outside the module, and the work area is enclosed with concrete slabs. Automated controls and video surveillance eliminate the need for personnel near the module during testing.

The protected command post is located approximately 20 meters from the test site. Communication with the test circuit is via a noise-immune cable: shielded twisted pair or fiber optic.

LETS-1.1 is equipped with a high-frequency data acquisition system. Multichannel telemetry data – pressure, temperature, vibration, force, drive and actuator status – is displayed in real time on the operator GUI and saved in logs for subsequent analysis, model refinement, and transient analysis.

4. Results of the LETS-1.1 field validation

The practical value of a test infrastructure is determined not only by the rig's layout but also by the results of full-scale validation. In the case of LETS-1.1, the primary objective of the initial fire tests was to validate the rig's architecture: the PHS, automation, preparation procedures, emergency shutoff systems, and digital data acquisition.

All tests were conducted in full compliance with regulations. The team's most important

Parameter	Meaning
Number of fire tests conducted	5
Fuel pair	liquid oxygen + isopropyl alcohol
Type of test	bench fire tests of a mock combustion chamber
The main goal	validation of the stand, PHS, automation, Telemetry collection PAC and safety procedures
Key engineering result	the operability of the mobile test architecture, control system and data collection circuit has been confirmed

achievement was the reproducibility of preparation, launches, and telemetry collection: each subsequent run allowed them to refine the launch parameters, verify the correctness of signal processing, improve the reliability of the cyclograms, and build a database for further analysis and improvement of the setup.

5. AI as a small team multiplier

Five people can't compete with large design bureaus with hundreds of engineers based on labor costs alone. Therefore, Thrust LLC uses AI tools as an auxiliary layer, accelerating design, programming, data analysis, and documentation preparation.

In design tasks, AI assistants assist with parametric modeling of test bench components. In software development, neural network models are used to write code for microcontrollers, automation scripts, visualization interfaces, and unit tests.

AI tools do not replace engineering discipline. Their role is to accelerate hypothesis testing, increase the density of engineering iterations, and make the work of small teams more reproducible. Critical control and safety modules undergo separate engineering reviews and are not considered the domain of unsupervised automated generation.



Hotfire of the test combustion chamber



System Interface
Aexion Synthesis

6. Ecosystem: Aexion Synthesis and Kazakhstan's Advantages

A sign of maturity in the tech industry is the emergence not only of individual companies but also of horizontal connections between them. A private NewSpace environment is beginning to emerge in Kazakhstan, where different teams are developing complementary competencies.

Thrust LLC is completing the physical testing cycle: mobile LETS stands, high-frequency data collection hardware, consumables, and testing ground infrastructure. A partner startup Aexion Synthesis Develops an analytical software layer: the multichannel telemetry stream is fed into the Aexion Synthesis computing platform, where multi-level diagnostic reports and dashboards (descriptive, diagnostic, and comparative) are automatically generated for the engineering review of liquid-propellant rocket engine fire tests. A built-in AI assistant allows for querying test data in natural language.

For potential clients, this combination represents a move toward a full turnkey testing cycle: from engine installation and pa-

rameter recording to engineering data interpretation and report preparation suitable for technical review.

Kazakhstan offers a rare combination of engineering, geographic, and institutional factors for the development of space startups. The legacy of Baikonur and its vast, sparsely populated territories are essential for testing high-energy and flight systems. Meanwhile, the digital infrastructure, the tax regime of the Astana Hub, and the legal framework of the Astana International Financial Center create a clear environment for technology entrepreneurship and the structuring of international transactions. Together, these factors provide the foundation for the development of export-oriented high-tech companies.

7. Commercial model: reinvestment spiral

For a startup to grow, its economic model can't be built solely on the long-term prospects of creating a rocket. Intermediate commercial products are needed to finance laboratory facilities, equipment purchases, software development, and test site preparation.

Product	Application	Engineering value
Mobile stands“LETS”	Experimental testing of spacecraft propulsion system components	Competencies in industrial and civil engineering, industrial safety, and field infrastructure
High-frequency data acquisition hardware and software system	Monitoring of turbines, compressors, pipelines and dynamically loaded systems	Telemetry Collection and Analysis
Analytics in collaboration with Aexion Synthesis	Test reports, dashboards, engineering data interpretation	Digital layer of the test cycle

The project’s development logic is cyclical: commercial contracts in the real sector finance the expansion of the laboratory’s facilities, and accumulated expertise is gradually transferred to more complex aerospace tasks. Thrust LLC is negotiating with potential clients in two areas: testing at its own site and supplying turnkey modular systems for domestic and export markets.

8. «Kuznechik»: a flying testbed for testing return stages

While commercializing its ground-based test infrastructure, Thrust LLC is not abandoning its pursuit of the stars. A separate experimental focus remains the «Kuznechik» project – an electric flying testbed for testing stabilization, navigation, and vertical landing algorithms. This platform allows for the safe transfer of some dynamically unstable vehicle control tasks from simulation to actual flight testing and lays the groundwork for future reusable aerospace systems.

Conclusion

The experience of Thrust LLC shows that modern private aerospace companies are increasingly borrowing approaches from IT companies, applying them to the physical world of high-energy systems. Hardware and software modeling, version control, digital logging, time series analysis, and parametric design don’t replace classical engineering, but they make it faster and more reproducible for small teams.

Mobile test infrastructure isn’t a byproduct on the way to a rocket, but a foundational layer of the private NewSpace segment. Without rigs, telemetry, testing grounds, safety procedures, and a culture of in-kind validation, it’s impossible to create reliable aerospace systems. It’s precisely this foundation that Thrust LLC is developing in Kazakhstan, combining engineering practices, digital tools, a supportive institutional environment, and cooperation between private technology teams.

■ Kuznechik



«Тяга» к звездам:

частный космос в Республике Казахстан

Введение

Частный космос чаще всего ассоциируется с ракетами, спутниками и пусками. Однако для начинающей аэрокосмической команды первый реальный барьер возникает раньше – на этапе физической валидации. Спроектировать двигатель, клапан, бак или систему управления сегодня становится проще благодаря доступным САПР-инструментам, открытым расчетным пакетам и ИИ-ассистентам. Но подтвердить работоспособность этих решений без стендов, датчиков, телеметрии, регламентов безопасности и испытательной площадки невозможно.

ООО «Тяга» – молодой аэрокосмический стартап, который начал путь с ин-

женерной инициативы малой команды, а затем нащупал свою практическую нишу: мобильную испытательную инфраструктуру для высокоэнергетических систем. Первоначально комплекс LETS-1.1 создавался как внутренний инструмент для проверки камеры сгорания, пневмогидросистемы (ПГС), автоматики и системы управления двигателем. Однако в ходе разработки стало ясно, что сама испытательная инфраструктура может быть самостоятельным продуктом – востребованным не только ракетными командами, но и разработчиками сложного промышленного оборудования.

История компании «Тяга» – пример того, как молодой NewSpace-стартап постепенно переходит от ракетомоделизма



Первая ракета
«Тяги»



Сборка стенда
в гараже

к созданию базового инфраструктурного слоя для будущей частной аэрокосмической отрасли Казахстана.

1. От инженерной инициативы к испытательной инфраструктуре

ТОО «Тяга» с самого начала развивалось как классический гаражный стартап с сильной IT-компонентой, а не по модели конструкторского бюро или НИИ. Ядро команды сформировали пять человек: два инженера, два программиста и аналитик данных. Первоначальные вложения составили около 30 000 долларов США – уровень серьезного технического хобби, достаточный для первых практических экспериментов.

Первой проверкой способности команды работать как единая инженерная группа стала разработка и запуск твердо-топливной ракетной модели. За две недели были выполнены аэродинамические расчеты, изготовлены элементы корпуса методом 3D-печати, собрана бортовая электроника и отработана беспроводная

передача телеметрии. Успешный запуск подтвердил, что небольшая команда способна быстро переходить от расчетной модели к физическому изделию.

Следующий рубеж – суборбитальная ракета на жидком топливе – выявил более фундаментальную проблему: бортовую автоматику невозможно надежно проектировать без проверки на реальных контурах высокого давления. Для верификации клапанов, приводов, алгоритмов управления и аварийной защиты требовалась собственная стендовая база.

Так фокус проекта сместился к созданию того, без чего такая ракета не взлетит, – испытательной инфраструктуры. Команде требовалась среда, где можно безопасно проверять пневмогидравлику, автоматику, циклограммы запуска и аварийного отсечения, а также качество телеметрии до перехода к полноценным двигательным и летным испытаниям.

Поэтому развитие проекта прошло через последовательные инженерные прототипы: сначала расчетные модели и



Монтаж
испытательного
стенда в контейнер

минимальное бортовое ПО, затем сборка и запуск модельной ракеты как проверка способности команды доводить прототипы до рабочего состояния, после этого – испытательный стенд. Его первая гаражная сборка на деревянном каркасе была не эксплуатационным объектом, а быстрым прототипом (MVP в IT-терминологии) для проверки компоновки контуров, логики управления, сбора данных и процедур безопасности.

После этой валидации команда переехала в промышленное помещение, где стенд был разобран, очищен, повторно собран уже в контролируемых условиях и подготовлен к развертыванию LETS-1.1 на полигонах Казахстана.

2. IT-парадигма разработки и регламенты чистоты

Ключевое отличие подхода ТОО «Тяга» – перенос практик современной разработки ПО в аппаратное R&D. Для стартапа на ранней стадии критичны короткие инженерные циклы, где каждая итерация завершается измеримым результатом: опрессованным участком ПГС, откалиброванным датчиком, проверенным драйвером АЦП, отлаженным клапанным блоком или новым набором экспериментальных данных.

Схемы ПГС, топологии плат, параметрические 3D-модели и конфигурации контроллеров хранятся в Git-репозиториях. Результаты испытаний фиксируются в базе временных рядов для последующего анализа и сопоставления с расчетными моделями. Критические узлы сначала моделируются или эмулируются в режиме полунатурных испытаний, затем проверяются на реальном «железе».

Отдельным этапом стало формирование регламентов чистоты. Первая макетная сборка проходила в гаражном помещении: ручная гибка нержавеющей трубопроводов, разводка кабельных трасс, компоновка силовых шкафов и первичная проверка сопряжения компонентов. В процессе переезда в «чистый» цех весной 2025 года стенд был полностью разобран, перевезен и подготовлен к повторной сборке.

Главным вызовом стала чистота внутренних поверхностей трубопроводов, клапанов и элементов ПГС. Органические загрязнения, масла, флюсы и механические частицы создают критические риски при работе с окислителями и газами под высоким давлением. Поэтому команда внедрила многоступенчатую подготовку: механическую очистку, ультразвуковое обезжиривание, промывку деионизированной водой, сушку по отраслевому регламенту кислородной чистоты и УФ-контроль загрязнений.

Переход от гаражного подхода к регламентированной подготовке оборудования стал одним из ключевых маркеров взросления проекта. Культура работы с высокоэнергетическими системами формируется не декларациями, а документированными процедурами и многоуровневым контролем всех процессов.

3. Архитектура полигона и комплекс LETS-1.1

Испытательный полигон проектировался как инфраструктура, которую можно постепенно дооснащать под разные типы стендовых испытаний. Базовая инфраструктура площадки – от подготовки

фундамента до первого огневого прогона стенда с макетной камерой сгорания – была смонтирована, опрессована и введена в эксплуатацию за четыре дня.

Испытательный модуль представляет собой контейнер со станиной для жесткого крепления стенда серии LETS. Стенд доставляется на площадку, фиксируется, подключается к коммуникациям и после серии испытаний может быть демонтирован для дефектоскопии, модернизации или хранения. С внешней стороны размещаются газовый и криогенный посты, а рабочая зона ограждается бетонными плитами. Автоматизированное управление и видеонаблюдение исключают присутствие персонала возле модуля во время испытаний.

Защищенный командный пункт расположен на удалении примерно в 20 метрах от испытательной позиции. Связь с испытательным контуром осуществляется через помехозащищенный кабель: экранированную витую пару или оптоволоконный канал.

LETS-1.1 оснащен системой высокочастотного сбора данных. Многоканальная телеметрия – давление, температура, вибрация, усилие, состояние приводов и исполнительных механизмов – отображается в GUI оператора в реальном времени и сохраняется в журналы для последующей аналитики, уточнения моделей и анализа переходных процессов.

4. Результаты натурной валидации LETS-1.1

Практическая ценность испытательной инфраструктуры определяет



Процедура очистки кислородного оборудования

ся не только компоновкой стенда, но и результатами натурной валидации. В случае LETS-1.1 основная цель первых огневых испытаний заключалась в проверке стендовой архитектуры: ПГС, автоматики, процедур подготовки, систем аварийного отсечения и цифрового сбора данных.

Все испытания прошли в полном соответствии с регламентом. Для команды важнейшим итогом стала воспроизводимость подготовки, запусков и сбора телеметрии: каждый последующий прогон позволял уточнять стартовые параметры, проверять корректность обработки сигналов, повышать надежность циклограмм и формировать базу данных для дальнейшего анализа и совершенствования стенда.

Параметр	Значение
Количество проведенных огневых испытаний	5
Топливная пара	жидкий кислород + изопропиловый спирт
Тип испытаний	стендовые огневые проверки макетной камеры сгорания
Основная цель	валидация стенда, ПГС, автоматики, ПАК сбора телеметрии и процедур безопасности
Ключевой инженерный результат	подтверждена работоспособность мобильной испытательной архитектуры, системы управления и контура сбора данных



Общий вид
промплощадки
«Тяги»

5. ИИ как мультипликатор малой команды

Пять человек не могут конкурировать с крупными конструкторскими бюро численностью в сотни инженеров только за счет объема трудозатрат. Поэтому ТОО «Тяга» использует ИИ-инструменты как вспомогательный слой, ускоряющий проектирование, программирование, анализ данных и подготовку документации.

В конструкторских задачах ИИ-ассистенты помогают с параметрическим моделированием узлов стенда. При разработке ПО нейросетевые модели используются для написания кода для микроконтроллеров, скриптов автоматизации, интерфейсов визуализации и unit-тестов.

ИИ-инструменты не заменяют инженерную дисциплину. Их роль – ускорить проверку гипотез, повысить плотность инженерных итераций и сделать работу малой команды более воспроизводимой. Критические модули управления и безопасности проходят отдельное инженерное ревью и не рассматриваются как область неконтролируемой автоматической генерации.

6. Экосистема: Aexion Synthesis и казахстанские преимущества

Признак зрелости технологической отрасли – появление не только отдельных компаний, но и горизонтальных связей между ними. В Казахстане начинает формироваться частная NewSpace-среда, где разные команды развивают взаимодополняющие компетенции.

ТОО «Тяга» закрывает физический уровень испытательного цикла: мобильные стенды LETS, высокочастотный ПАК сбора данных, расходники и полигонную инфраструктуру.

Партнерский стартап Aexion Synthesis развивает аналитический программный слой: поток многоканальной телеметрии поступает в вычислительную платформу Aexion Synthesis, где автоматически формируются многоуровневые диагностические отчеты и дашборды (описательного, диагностического и сравнительного уровней) для инженерного ревью огневых испытаний ЖРД. Встроенный ИИ-ассистент позволяет запрашивать данные испытаний на естественном языке.

Для потенциальных клиентов такая связка означает движение к полному циклу испытаний под ключ: от монтажа двигателя и регистрации параметров до инженерной интерпретации данных и подготовки отчета, пригодного для технического ревью.

Для развития космических стартапов в Казахстане формируется редкое сочетание инженерных, территориальных и институциональных факторов. Наследие Байконура и обширные малонаселенные территории важны для испытаний высокоэнергетических и летных систем. При этом цифровая инфраструктура, налоговый режим AstanaHub и правовые основы Международного финансового центра «Астана» создают понятную среду для технологического предпринимательства

и структурирования международных сделок. В совокупности эти факторы создают основу для развития экспортоориентированных высокотехнологичных компаний.

7. Коммерческая модель: спираль реинвестирования

Для развития стартапа его экономическая модель не может строиться только на долгосрочной перспективе создания ракеты. Необходимы промежуточные коммерческие продукты, которые финансируют лабораторную базу, закупку оборудования, развитие программного обеспечения и подготовку полигона.

Логика развития проекта является спиральной: коммерческие контракты в реальном секторе финансируют расширение лабораторной базы, а накопленные компетенции постепенно переносятся на более сложные аэрокосмические задачи. ТОО «Тяга» ведет переговоры с потенциальными клиентами по двум направлениям: проведение испытаний на собственной площадке и поставка модульных комплексов под ключ для внутреннего и экспортного рынков.

8. «Кузнечик»: летающий стенд для отработки возвращаемых ступеней

Коммерциализируя наземную испытательную инфраструктуру, ТОО «Тяга» не отказывается от стремления к звездам. Отдельным экспериментальным направлением остается проект «Кузнечик» – электрический летающий стенд для от-

работки алгоритмов стабилизации, навигации и вертикальной посадки. Такая платформа позволяет безопасно переносить часть задач управления динамически неустойчивыми объектами из симуляции в реальные летные испытания и формирует задел для будущих многоразовых аэрокосмических систем.

Заключение

Опыт ТОО «Тяга» показывает, что современная частная аэрокосмическая компания все чаще заимствует подходы IT-компаний, применяя их к физическому миру высокоэнергетических систем. Аппаратно-программное моделирование, версионирование, цифровое журналирование, анализ временных рядов и параметрическое проектирование не заменяют классическую инженерию, но делают ее более быстрой и воспроизводимой для малых команд.

Мобильная испытательная инфраструктура – не побочный продукт на пути к ракете, а базовый слой частного NewSpace-сегмента. Без стендов, телеметрии, полигонов, процедур безопасности и культуры натурной валидации невозможно создавать надежные аэрокосмические системы.

Именно этот слой компания «Тяга» развивает в Казахстане, соединяя инженерную практику, цифровые инструменты, благоприятную институциональную среду и кооперацию частных технологичных команд. ■

Продукт	Применение	Инженерная ценность
Мобильные стенды LETS	Экспериментальная отработка компонентов двигательных систем КА	Компетенции в ПГС, промбезопасности и полевой инфраструктуре
Программно-аппаратный комплекс высоко-частотного сбора данных	Мониторинг турбин, компрессоров, трубопроводов и динамически нагруженных систем	Сбор и анализ телеметрии
Аналитика совместно с Aexion Synthesis	Отчеты по испытаниям, дашборды, инженерная интерпретация данных	Цифровой слой испытательного цикла

Стратегический информационный суверенитет для геостационарной коммуникационной инфраструктуры: формальная многокритериальная модель принятия решений с анализом чувствительности методом Монте-Карло



Анатолий Кременчуцкий,
директор India-Kazakhstan Centre of Excellence in Information Communication Technology
Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева



Виктор Лефтер,
советник председателя правления
АО «Республиканский центр
космической связи»

Аннотация

Для средних космических держав закупка геостационарного спутника связи на замену уже не сводится к цене, техническим характеристикам или срокам поставки: она затрагивает информационный суверенитет, промышленную устойчивость и оперативную непрерывность на 15-летнем горизонте. Такое решение формализуется здесь как задача многокритериального анализа решений (MCDA) и применяется к замене казахстанской группировки KazSat-2 и KazSat-3 (вывод из эксплуатации в 2026 и 2029 годы) преемником KazSat-3R с сохранением орбитальной позиции 58,5° в.д.

Семь критериев – технологический суверенитет, стоимость жизненного цикла, время до оперативной готовности, риск безопасности и экспортного контроля, развитие кадров, интеграция с наземной инфраструктурой и геополитический риск – взвешиваются методом аналитической иерархии (АНР) по матрице попарного сравнения Саати (CR = 0,0081).

Оцениваются три варианта: (А) автономная национальная система, (В) стратегическое партнерство с западными поставщиками, (С) интегрированная западная закупка. Анализ чувствительности методом Монте-Карло ($n = 10\,000$; возмущение весов $\sigma = 0,15$, оценок $\sigma = 0,10$) показывает: вариант А удерживает 1-й ранг с частотой 1,000, В – 2-й с частотой 0,966, С – 3-й с частотой 0,966.

Разброс агрегированной оценки для варианта В в 2,4 раза выше, чем для А или С, то есть промежуточные конфигурации «партнерства» наименее устойчивы к неопределенности весов экспертов. Работа предлагается не как окончательная рекомендация, а как шаг к воспроизводимой, поддающейся аудиту поддержке принятия решений, где допущения раскрываются, веса варьируются, а чувствительность выводов количественно оценивается, а не скрывается.

Ключевые слова: информационный суверенитет; многокритериальный анализ решений; метод аналитической иерархии; анализ чувствительности методом Монте-Карло; закупка геостационарных

спутников; KazSat-3R; управление космической инфраструктурой; показатели устойчивости.

1. Введение

Управление геостационарной коммуникационной инфраструктурой вступило в фазу, когда закупки неотделимы от информационного суверенитета. Выбор поставщика для замены спутника определяет наземное ПО, обучение операторов, зависимость от запчастей и подверженность экспортному контролю на 15-летнем горизонте. Тем не менее такие закупки обсуждаются преимущественно через цену и график поставок, тогда как факторы долгосрочной устойчивости миссии остаются неявными и редко подвергаются документированному анализу неопределенности.

Случай конкретен. KazSat-2 и KazSat-3 (запуски в 2011 и 2014 годы; точки 86,5° и 58,5° в.д.) завершают миссию: KazSat-2 выводится из эксплуатации в конце 2026 года, KazSat-3 – в конце 2029 года. Точка 86,5° принадлежит Российской Федерации и была предоставлена Казахстану по межгосударственному договору; в точке 58,5° в.д. приоритет стандартного Кудиапазона закреплен за Казахстаном, что делает ее национальным стратегическим активом для вещания, широкополосной и правительственной связи. С учетом срока создания аппарата (3–5 лет) без своевременных мер к концу 2029 года страна рискует остаться без суверенной системы связи с покрытием всей территории.

Решение о замене KazSat-3 – здесь нейтрально именуемое KazSat-3R – на стадии обсуждения закупок. Воспроизводимых моделей для оператора одного спутника в условиях информационной зависимости и концентрации поставщиков немного: подходы либо сводят задачу к компромиссу «стоимость – производительность», либо переходят к качественному геополитическому анализу без базовой модели. Предлагаемая структура MCDA по семи критериям и трем вариантам строит вос-



производимый конвейер с явно заданными весами, оценками, нормализацией, агрегированием и границами неопределенности. Рекомендация условна – она указывает, какой вариант доминирует при каких весовых предположениях; выбор лица, принимающего решение, остается политическим, а модель делает процесс формализованным, воспроизводимым и поддающимся аудиту.

2. Связанные работы

Многокритериальный анализ решений (MCDA) – зрелая область с тремя семействами методов: ранжирование (ELECTRE, PROMETHEE), функции ценности и иерархии попарного сравнения (АНР); универсально лучшего метода нет, выбор зависит от структуры задачи и требований к проверяемости. Закупка геостационарного спутника оператором одного актива формально рассмотрена слабо.

Метод АНР выводит веса из матрицы попарного сравнения по шкале Саати 1–9 (порог приемлемости $CR \leq 0,10$). Известная критика – чувствительность весов к суждениям одного эксперта; в ответ применяют нечеткий АНР либо, как здесь, метод Монте-Карло с логнормальным возмущением, дающий интерпретируемые частоты рангов. Понятие информационного суверенитета переместилось в центр



технологической политики, но в моделях принятия решений формализуется редко.

Настоящая работа отличается тремя чертами:

- формальный MCDA применен к конкретной современной закупке одного актива (KazSat-3R);
- суверенитет введен как критерий с наибольшим весом и явной численной операционализацией;
- представлен полный анализ чувствительности (10 000 запусков с совместно возмущенными весами и оценками).

3. Проблема принятия решения: критерии и варианты

Контекст. KazSat-3 (58,5° в.д.) обеспечивает полное покрытие территории Казахстана и завершает срок службы к 2029 году. Точка 58,5° в.д. закреплена за страной; отказ от нее дорог, так как орбитальные позиции – ограниченный регулируемый ресурс, поэтому замена – краткосрочная оперативная необходимость. Сам KazSat-3 был закуплен у российского поставщика с полезной нагрузкой европейского происхождения; за десятилетие рынок перестроился (экспортный контроль, санкции, партнерства БРИКС+, консолидация западных интеграторов), и исходить из ситуации 2014 года нельзя.

Семь критериев (шкала 1–9; «выгода» – выше лучше, «затраты» – выше хуже, инвертируется при нормализации): K1 технологический суверенитет (выгода) – независимый контроль над жизненным циклом, от 9 (автономная система) до 1 (полная зависимость от одного интегратора); K2 стоимость жизненного цикла за 15 лет (затраты); K3 время до оперативной готовности (затраты); K4 риск безопасности и экспортного контроля в период закупок (затраты); K5 развитие трудовых ресурсов – ноу-хау, локальное производство, кадры (выгода); K6 интеграция с инфраструктурой KazSat – наземный сегмент, управление, TT&C (выгода); K7 геополитический риск на 15-летнем горизонте (затраты), в отличие от K4 на более длинном горизонте. Перечень не исчерпывающий, но отражает аспекты с наибольшим расхождением между вариантами.

Три варианта: А – «Красная линия» (автономная национальная инфраструктура): максимум суверенитета, локальное наземное ПО, национальное обучение, независимые запчасти; самые высокие капзатраты и срок ввода, но наибольшая защита от потрясений и развитие кадров.

В – «Стратегическое партнерство» (БРИКС+, умеренный суверенитет): незападный партнер с частичной передачей технологий и сборкой внутри страны; промежуточные значения по большинству критериев, преимущество – уход от рисков западного экспортного контроля, недостаток – иной, но реальный геополитический профиль.

С – «Интегрированный Запад» (низкий суверенитет, высокая интеграция): крупный западный поставщик, короткие сроки и полная интеграция с западным наземным ПО, но минимальная передача технологий и полная зависимость от поставщика.

4. Математическая основа

Для n критериев ($n = 7$) экспертная оценка формирует обратную матрицу M по шкале Саати 1–9 ($m_{ji} = 1/m_{ij}$, $m_{ii} = 1$); независимы $n(n-1)/2 = 21$ верхнетреуго-

гольных элемента. Вектор весов w извлекается из главного правого собственного вектора: $M \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$, $\sum w_i = 1$ (для идеально согласованной матрицы $\lambda_{\max} = n$). Согласованность: $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, $CR = CI / RI(n)$, $RI(7) = 1,32$; матрица приемлема при $CR \leq 0,10$. Нормализация по столбцам: для выгод $\tilde{s}_{ij} = s_{ij} / \max_k s_{kj}$, для затрат $\tilde{s}_{ij} = \min_k s_{kj} / s_{ij}$, так что все $\tilde{s}_{ij} \in (0, 1]$ и «выше – лучше» единообразно. Агрегирование взвешенной суммой: $S_i = \sum_j w_j \cdot \tilde{s}_{ij}$, ранжирование по убыванию S_i ; учет неопределенности возложен на Монте-Карло, а не на сложное правило агрегирования.

Анализ чувствительности. На каждой из N итераций верхнетреугольные элементы M умножаются на независимый фактор $\text{LogNormal}(0, \sigma_w)$, пересчитываются веса $w^{(r)}$; элементы матрицы оценок умножаются на $\text{LogNormal}(0, \sigma_s)$ с обрезкой до $[1, 9]$; вычисляются возмущенные баллы и ранги. По N итерациям строится матрица ранговых частот F (F_{ik} – доля запусков, где вариант i достиг ранга k); F_{i1} интерпретируется как устойчивость статуса лучшего варианта. Конвейер реализован на Python (NumPy, PyYAML); все входы хранятся в одном `config.yaml`, результаты получены одним вызовом скрипта на суперкомпьютере PARAM BILIM (IKSEICT, ЕНУ) при фиксированном начальном значении 20260405.

5. Базовые результаты

Базовая матрица (Приложение А) отражает приоритет суверенитета: К1 важнее кластера «стоимость – время – интеграция» (К3, К5, К6) и равен кластеру «безопасность – геополитика» (К2, К4, К7). Получено $\lambda_{\max} = 7,0644$, $CI = 0,0107$, $CR = 0,0081$ – около одной двенадцатой порога Саати.

Таблица 1.
Базовые приоритетные веса АНР

Критерий	Вес
К1 Технологический суверенитет	0,3681
К2 Стоимость жизненного цикла	0,1545
К3 Время до оперативной готовности	0,0561
К4 Риск безопасности / экспортного контроля	0,1545
К5 Развитие трудовых ресурсов	0,0561
К6 Интеграция с инфраструктурой	0,0561
К7 Геополитический риск	0,1545

Исходные оценки 1–9 (Таблица 2) после нормализации (Таблица 3) дают единообразное «выше – лучше». Вариант А доминирует по К1, К2, К3, К5; С – по К4, К6, К7; В не доминирует ни по одному критерию, но и не экстремален – особен-

Таблица 2. Исходные оценки (К1...К7)

	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7
А	9	3	3	8	9	5	7
В	6	6	6	6	7	6	5
С	2	8	8	3	4	8	3

Таблица 3. Нормализованные оценки (К1...К7)

	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7
А	1,000	1,000	1,000	0,375	1,000	0,625	0,429
В	0,667	0,500	0,500	0,500	0,778	0,750	0,600
С	0,222	0,375	0,375	1,000	0,444	1,000	1,000



ность, важная для анализа чувствительности.

Агрегирование (Таблица 4) дает однозначный порядок $A > B > C$: разница $A - B = 0,188$ ($\approx 24\%$ балла A), $B - C = 0,056$ ($\approx 9\%$ балла B) – устойчивое отделение A при более тесной конкуренции B и C .

Таблица 4. Сводные базовые баллы

Вариант	Сводный балл	Ранг
A	0,7941	1
B	0,6064	2
C	0,5509	3

Таблица 5. Распределения баллов по 10 000 возмущений (среднее / σ / 5-й / 50-й / 95-й проц.)

Вариант	Среднее	σ	5-й проц.	50-й проц.	95-й проц.
A	0,7959	0,0151	0,7721	0,7955	0,8213
B	0,6234	0,0373	0,5649	0,6214	0,6883
C	0,5572	0,0163	0,5313	0,5568	0,5845

6. Анализ чувствительности методом Монте-Карло

Процедура раздела 4 при $N = 10\,000$, $\sigma_w = 0,15$, $\sigma_s = 0,10$, начальном значении 20260405; значения консервативны. На всех 10 000 итерациях CR оставался ниже 0,10 (частота нарушений 0,000) – веса не являются хрупкой точечной оценкой. Медианы возмущенных распределений (0,7955; 0,6214; 0,5568) практически совпадают с базовыми, но стандартные отклонения различаются принципиально: $A - 0,0151$, $C - 0,0163$, $B - 0,0373$ (в 2,4 раза больше, чем у A , и в 2,3 – чем у C). Интервалы 5–95 перцентилей между A и остальными не перекрываются, между B и C – лишь незначительно (отсюда редкий обмен рангами 2/3).

Матрица ранговых частот (Таблица 6) – центральный результат: (1) вариант A удерживает ранг 1 во всех 10 000 итерациях, $P(\text{ранг } 1) = 1,000$ (верхняя граница 95% доверительного интервала Вильсона для вероятности реверсии $\approx 3/N = 3 \cdot 10^{-4}$) – доминирование A не артефакт конкретных весов или оценок; (2) B удерживает ранг 2 в 96,6% и уступает C в 3,4% – порядок $B - C$ заметно менее устойчив; (3) ни B , ни C ни при каких возмущениях не достигают ранга 1.

Интерпретация асимметрии дисперсии – ключевой вывод работы. В семи-мерном пространстве критериев A и C лежат у противоположных углов гиперкуба (каждый высок по своему кластеру и низок по другому), а B – у центра. При возмущении весов произведения $w \cdot \tilde{s}_A$ и $w \cdot \tilde{s}_C$ стабильны, поскольку в них до-

Таблица 6. Эмпирические частоты рангов (10 000 итераций)

Вариант	P(ранг 1)	P(ранг 2)	P(ранг 3)
A	1,000	0,000	0,000
B	0,000	0,966	0,034
C	0,000	0,034	0,966

минируют члены, близкие к 1, тогда как $w \cdot \tilde{s}_B$ складывается из членов сопоставимой величины, каждый из которых пропорционально вносит вклад в дисперсию. Отсюда вывод теории принятия решений: стратег, не уверенный в весах, должен опасаться именно того варианта, чья оценка наиболее чувствительна к весам, – промежуточной «партнерской» архитектуры; крайние варианты устойчивы потому, что их эффективность определяется структурным доминированием кластеров, а не калибровкой весов. Свойство не зависит от того, какой угол предпочтен: при снижении веса K1 предпочтительным стал бы C, но B снова оказался бы самым чувствительным. Структурный вывод – не «А лучший», а «промежуточные варианты наименее устойчивы к неопределенности весов».

7. Обсуждение

Выводы модели условны и зависят от входов, которые структура не проверяет: матрица весов – политический выбор (при приоритете стоимости рейтинг был бы иным); исходные оценки стилизованы и в реальной закупке пересчитываются по фактическим заявкам; семь критериев не исчерпывающи, но добавление новых уточнит, а не изменит выводы, определяемые преобладающим весом K1.

Асимметрия дисперсии – не артефакт случая KazSat-3R, а общая черта MCDA со взвешенными суммами при вариантах «от угла до угла». Контринтуитивный вывод для политики закупок: импульс хеджировать «умеренным» вариантом подвергает решение именно той неопределенности весов, которой стратег хотел управлять. В сравнении с неформальным отбором формальная структура переводит компромиссы в числа ($w_1/w_3 = 6,6$) и выдает вероятность вместо вердикта ($P(A - \text{лучший}) = 1,000$ при данных весах; «лучшим» становится C, если вес K1 падает ниже $\approx 0,20$), подвергая допущения эксперта аудиту.





8. Ограничения

(1) Веса получены из одного опроса; групповой опрос с агрегированием геометрическим средним надежнее (возмущение $\sigma_w = 0,15$ частично это замещает). (2) Матрица оценок стилизована и иллюстрирует структуру, а не конкретные предложения. (3) Модель статична – реальная закупка многоэтапна. (4) Критерии считаются независимыми, хотя часть коррелирована (K2 – K3, K1 – K5); влияние мало, так как разделение определяется слабо коррелированным K1. (5) Не учтена стратегическая адаптация поставщиков. Ограничения сужают, но не отменяют выводы: структура – инструмент поддержки решений, а не замена обсуждению.

9. Политические и промышленные последствия

Критерии, веса и оценки должны быть задокументированы до оценки заявок, а не после, иначе возникает риск ретроспективной рационализации; обязательство предоставить конфигурацию для аудита делает закупку воспроизводимой. Полезно прогнать несколько подходов к весам (суверенитет, стоимость, время) с ранговыми частотами по каждому, а асимметрию дисперсии указывать явно: документ с одним базовым рейтингом скрыл бы менее надежный порядок 2/3. Аналогичные решения предстоят опера-

торам ОАЭ, Вьетнама, Нигерии, Алжира и других; структура переносится с пересмотром матриц оценок и весов под национальный контекст и повторным запуском Монте-Карло. Общая черта таких случаев – промежуточный «партнерский» вариант, наиболее чувствительный к критериям оценки.

10. Заключение

Решение о закупке заменяющего геостационарного спутника связи (KazSat-3R) формализовано как задача MCDA с семью критериями, тремя вариантами, взвешиванием по АНР и анализом Монте-Карло для 10 000 совместно возмущенных конфигураций. Вклад методологический: структура не выбирает вариант, а документирует, как выбор зависит от оценок, и количественно оценивает устойчивость рейтинга. Получены три результата. Во-первых, при весах с приоритетом суверенитета (CR = 0,0081) вариант А достигает наивысшего балла 0,7941 с отрывом 0,188 и 0,243 от В и С. Во-вторых, порядок устойчив к возмущениям весов $\pm 15\%$ и оценок $\pm 10\%$: А удерживает ранг 1 с частотой 1,000 без единой реверсии. В-третьих, и это стратегически важнее всего, стандартное отклонение балла промежуточного варианта В в 2,4 раза выше, чем у любого углового, – промежуточные архитектуры по своей природе наиболее чувствительны к неопределенности весов. Стратегическое следствие контринтуитивно, но строго определено: лицо, не уверенное в весах, должно сильнее всего опасаться варианта, чья оценка наиболее чувствительна к этим весам, – промежуточного хеджирования, а не крайнего варианта; это справедливо независимо от того, какой крайний вариант предпочтен. Предлагаемая структура – шаг к воспроизводимой и поддающейся аудиту поддержке решений при закупке суверенной космической инфраструктуры; она не заменяет политическое обсуждение, а делает его допущения явными и проверяемыми.

Приложение А.**Базовая матрица попарного сравнения**

Элемент m_{ij} кодирует важность K_i относительно K_j по шкале Саати 1–9; матрица обратная ($m_{ji} = 1/m_{ij}$).

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1	3	5	3	5	5	3
K2	1/3	1	3	1	3	3	1
K3	1/5	1/3	1	1/3	1	1	1/3
K4	1/3	1	3	1	3	3	1
K5	1/5	1/3	1	1/3	1	1	1/3
K6	1/5	1/3	1	1/3	1	1	1/3
K7	1/3	1	3	1	3	3	1

Список использованных источников

[1] Саати Т.Л. (1980). Аналитический иерархический процесс. McGraw-Hill, Нью-Йорк.

[2] Саати Т.Л. (2008). Принятие решений с помощью аналитического иерархического процесса. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.

[3] Рой Б. (1996). Многокритериальная методология для принятия решений. Kluwer, Дордрехт.

[4] Кини Р.Л., Райффа Х. (1993). Решения с множественными целями. Cambridge University Press.

[5] Белтон В., Стюарт Т.Дж. (2002). Многокритериальный анализ решений: интегрированный подход. Kluwer, Бостон.

[6] Триантафиллу Э. (2000). Методы принятия многокритериальных решений: сравнительное исследование. Kluwer, Дордрехт.

[7] Vaidya O.S., Kumar S. (2006). Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29.

[8] Ho W., Ma X. (2018). The state-of-the-art integrations and applications of the AHP. *European Journal of Operational Research*, 267(2), 399–414.

[9] Брунелли М. (2015). Введение в аналитический иерархический процесс. Springer.

[10] Saltelli A. et al. (2008). *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Wiley, Чичестер.

[11] European Space Agency (2025). *Shaping*

Результат: $\lambda_{\max} = 7,0644$; $CI = (\lambda_{\max} - 7)/6 = 0,0107$; $RI(7) = 1,32$; $CR = 0,0081$.

the space security programme at ministerial level. ESA Council Document, Париж.

[12] Mashiku A. (2025). NASA CARA compendium on AI/ML in collision avoidance. NASA CARA Technical Report.

[13] Liu J. et al. (2024). Digital twin of the space environment: recent advances and prospects. *Remote Sensing*, 16(15), 2706.

[14] U.S. Department of Defense (2024). Strategy for sovereign AI capability development. Office of the Secretary of Defense, Вашингтон.

[15] Roshanian J., Ebrahimi M. (2013). Latin hypercube sampling applied to reliability-based multidisciplinary design optimization of a launch vehicle. *Aerospace Science and Technology*, 28(1), 297–304.

[16] Ahn J., Lee D., Kim H.-J. (2023). Strategic decision-making framework for satellite procurement under geopolitical uncertainty. *Acta Astronautica*, 207, 215–227.

[17] Triantaphyllou E., Sánchez A. (1997). A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods. *Decision Sciences*, 28(1), 151–194.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Все численные результаты, полученные на суперкомпьютере PARAM BILIM, IKCEICT, воспроизводимы из дополнительных материалов.

Контактная информация: Анатолий Кременчуцкий, IKCEICT, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан. ■

Первый казахстанский окололунный телескоп

как перспективное направление развития национальной космической науки и техники



Алан КАЗКЕНОВ,
Аэрокосмический комитет
Министерства искусственного
интеллекта и цифрового развития
Республики Казахстан

Чингис ОМАРОВ,
Астрофизический институт
имени Фесенкова

Чингиз АКНИЯЗОВ,
Астрофизический институт
имени Фесенкова

Александр Серебрянский,
Астрофизический институт
имени Фесенкова

Сергей ПРОКУДИН,
СП «Ghalam»

Максим КРУГОВ,
Аэрокосмический комитет
Министерства искусственного
интеллекта и цифрового
развития
Республики Казахстан

Введение

Астрофизика и астрономия на протяжении многих десятилетий остаются одной из главных движущих сил мировой космонавтики. Они во многом определяют, какие вопросы ставятся перед космическими программами, какие инструменты для этого создаются и какие технологии выходят на передний план.

Исследования звезд, галактик, малых тел Солнечной системы и межпланетной среды не только расширяют представления о космосе, но и стимулируют развитие оптики, приемной аппаратуры, систем наведения, вычислительных методов и средств обработки больших данных. Для Казахстана эти направления имеют принципиальное значение.

Астрономия и астрофизика занимают особое место в системе отечественной науки, являясь не только фундаментальными направлениями исследований, но и основой для развития космических технологий. Полученные в этих областях

знания и компетенции позволяют создавать наблюдательные системы, развивать космическую ситуационную осведомленность, совершенствовать приборостроение, технологии обработки данных и готовить кадры для научно-технологичных космических проектов.

В данном контексте проект первого казахстанского орбитального окололунного телескопа представляет собой этап развития национальной космической отрасли.

Первый этап проекта реализуется в 2024–2026 годах и направлен на разработку научной программы, архитектуры космической системы и базовых технических решений будущей миссии.

Актуальность проекта в условиях изменения мировой космической повестки

Современный этап развития мировой космонавтики характеризуется переходом от преимущественного освоения околоземного пространства к активному



изучению Луны и окололунной области. Реализация международных программ, ориентированных на возвращение к Луне, создание устойчивой окололунной инфраструктуры, проведение автоматических и пилотируемых миссий формируют новую научную и технологическую повестку.

Подтверждением этому стала успешная миссия Artemis II. В апреле 2026 года NASA осуществило первый пилотируемый полет программы Artemis с облетом Луны.

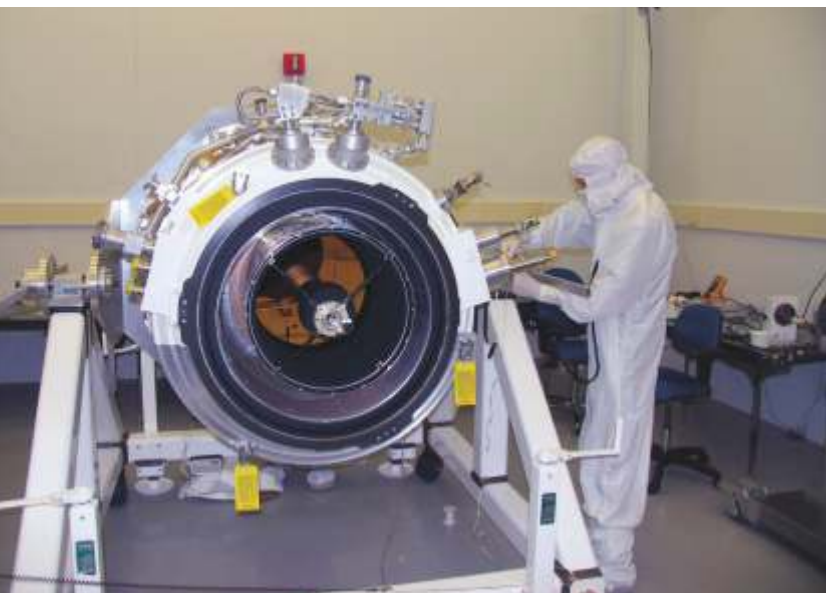
В настоящее время реальные лунные программы развивают прежде всего США, Китай и Индия, а заметную роль в формировании новой окололунной архитектуры играет Европейское космическое агентство. Одновременно формируются и специализированные проекты наблюдательных аппаратов в окололунном пространстве, наиболее продвинутым из которых является европейская миссия LUMIO.

Для Казахстана включение в этот процесс на раннем этапе имеет стратегическое значение. Развитие собственного проекта окололунного телескопа создает

возможность для своевременного вхождения в новую фазу мировой космической деятельности в качестве участника, обладающего собственным научным и инженерным вкладом.

Окололунное пространство становится новой зоной космической актив-





ности, где будут возрастать требования к системам космической ситуационной осведомленности, наблюдению за объектами и средствам анализа потенциальных рисков.

Научная концепция проекта и выбор приоритетных направлений

Содержательное ядро проекта строится вокруг идеи разработки космической системы для наблюдений за объектами искусственного и естественного происхождения на окололунной орбите. В рамках первого этапа предполагается определение наиболее значимых научных задач, выбор оптимальных орбит, формирование требований к полезной нагрузке и платформе, а также проведение пред-



варительного инженерного проектирования.

Проект ориентирован на ограниченное число направлений, обладающих высокой научной и прикладной значимостью. В качестве полезной нагрузки предусматривается двухинструментальная система инфракрасного диапазона.

Первый инструмент – телескоп с диаметром главного зеркала 20 см – предназначен для наблюдения астероидов во внутренней области Солнечной системы, а также для решения задач космической ситуационной осведомленности и управления космическим движением в системе Земля–Луна.

Второй инструмент – телескоп с 10-сантиметровым объективом – ориентирован на мониторинг поверхности Луны для регистрации ударных вспышек, возникающих при падении метеороидов.

Такое построение полезной нагрузки увязывает архитектуру миссии с двумя основными классами задач. Научное значение проекта определяется тем, что он объединяет фундаментальные исследования и прикладные задачи: от наблюдения астероидов и планетарной защиты до задач SSA/STM и оценки рисков для будущих орбитальных и лунных миссий и станций на Луне.

Почему именно окололунная орбита

Одним из принципиальных вопросов проекта является выбор орбитальной области размещения телескопа. Окололунная орбита предоставляет качественно иные возможности. Она позволяет организовать длительные и устойчивые наблюдения объектов, которые с поверхности Земли доступны лишь частично, и открывает дополнительные возможности для наблюдения целей, плохо различимых в геометрии наземного наблюдателя.

По мере роста числа миссий в системе Земля–Луна возникает объективная необходимость в формировании собственных инструментов мониторинга данной области.



С точки зрения научной программы это особенно важно для обеих составляющих полезной нагрузки: телескоп с главным зеркалом 20 см получает преимущества при наблюдении астероидов и окололунных объектов, а инструмент с 10-сантиметровым объективом – при мониторинге поверхности Луны и регистрации тепловых проявлений ударных событий.

Научный и инженерный задел Казахстана

Существенным преимуществом проекта является то, что он не начинается с исходной нулевой позиции. Его основой выступает уже накопленный научный и инженерный потенциал двух ключевых организаций – Астрофизического института имени Фесенкова и ТОО «Ghalam».

Астрофизический институт за последние годы сформировал компетенции в области космической ситуационной осведомленности, наблюдательной астрофи-

зики, автоматизированных оптических систем, спектральных исследований, обработки астрономических данных и численного моделирования.

В свою очередь, компания Ghalam обладает опытом проектирования, сборки, интеграции и испытаний космических аппаратов, в том числе в рамках проекта KazSTSAT. Важным обстоятельством является и наличие в стране развитой испытательной и производственной инфраструктуры, включая сборочно-испытательный комплекс космических аппаратов. Именно сочетание научной школы, инженерного опыта и инфраструктурной базы делает проект практически реализуемым.

Междисциплинарный и институциональный эффект

Особенность проекта состоит в его выраженном междисциплинарном характере. В его реализации объединя-



ются астрофизика, небесная механика, орбитальная динамика, оптическое приборостроение, тепловой и радиационный анализ, системное проектирование космических аппаратов, обработка данных и программирование.

Для Казахстана это создает возможность для системной интеграции науки, инженерии и промышленной подготовки.

Отдельного внимания заслуживает перспективное научное сотрудничество с Институтом ядерной физики Агентства

по атомной энергии по вопросам радиационной стойкости отдельных компонентов служебной платформы и полезной нагрузки будущего окололунного телескопа.

Возможности ускорительной базы Института ядерной физики позволяют проводить испытания материалов и компонентов в энергетических диапазонах, репрезентативных для анализа отдельных факторов радиационного воздействия, характерных для миссий за пределами основных радиационных поясов Земли.

В частности, научный интерес представляет исследование радиационной стойкости сапфирового корректора телескопа как одного из чувствительных элементов оптической полезной нагрузки.

Не менее значим и кадровый эффект проекта. Реализация программы создает условия для подготовки специалистов нового поколения в области астрофизики, космического приборостроения, материаловедения, инженерного анализа и обработки данных.

Своевременность проекта для государственной научно-технологической политики

С точки зрения государственной политики проект первого казахстанского окололунного телескопа имеет значимость. Он соответствует задачам развития национальной системы научных исследований и укрепления научно-технического потенциала страны, вписывается в стратегию расширения направлений космической деятельности Республики Казахстан и формирует задел в области миссий дальнего космоса.

Своевременность проекта определяется тем, что мировой спрос на собственные компетенции в области лунных и окололунных миссий будет возрастать. Вместе с тем окно для вхождения в эту сферу именно на стадии формирования новой международной архитектуры не будет оставаться открытым бесконечно долго. Поэтому участие Казахстана в проектировании и концептуальной разработке собственной окололунной миссии сле-

дует рассматривать как своевременный шаг в интересах долгосрочной научно-технологической политики государства.

Ограничения и перспективы дальнейшего развития

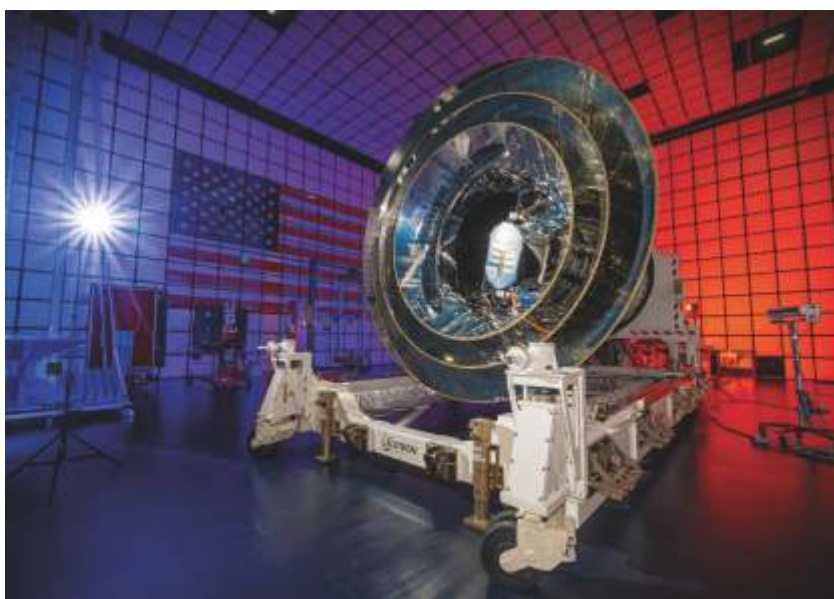
Следует отметить, что проект относится к числу технологически сложных и долгосрочных. Он связан с высокой зависимостью от современной компонентной базы, сложностью теплового и радиационного анализа, необходимостью выбора оптимальной орбитальной архитектуры, а также последующим переходом от концептуального этапа к полноценному инженерному циклу. Однако именно поэтому текущий этап имеет особое значение. Его задача состоит в том, чтобы снизить исходную неопределенность, сформировать обоснованную научную и инженерную конфигурацию проекта и тем самым создать основу для принятия решений на следующих стадиях.

Фактически речь идет о подготовке платформы для дальнейшего перехода к детальному проектированию, созданию инженерных моделей, квалификационным испытаниям и в перспективе – к изготовлению летного изделия.

Заключение

Проект первого казахстанского окололунного телескопа представляет собой научно и технологически обоснованную инициативу, отражающую переход Казахстана к новому этапу развития космической деятельности. Он формирует предпосылки для появления в стране нового исследовательского и инженерного направления, связанного с миссиями дальнего космоса, окололунными наблюдениями, планетарной защитой и развитием систем космической ситуационной осведомленности.

Своевременность проекта определяется совпадением сразу нескольких факторов: ростом международного интереса к Луне, необходимостью расширения национальных научно-технологических



компетенций, наличием уже сформированного отечественного задела и объективным окном возможностей для включения в новую фазу мировой космической повестки.

Проект окололунного телескопа следует рассматривать не только как перспективную исследовательскую инициативу, но и как элемент долгосрочной государственной стратегии в области науки, технологий и позиций Казахстана в мире. ■

Сверхлегкие и легкие носители: востребованность и технологичность



Мырзахан ОМАРБАЕВ,
инженер

За последние три года рынок малых ракет похоронил больше компаний, чем вывел на орбиту новых носителей. Virgin Orbit – банкротство. Astra – фактический уход из бизнеса пусков. ABL Space, привлекая более полумиллиарда долларов, в конце 2024-го свернула коммерческую программу и переименовалась в оборонную Long Wall. Relativity Space бросила свою напечатанную Terran 1 после единственного неудачного полета. Британская Orbex, годами числившаяся в списках «европейских надежд», объявила о банкротстве в феврале 2026-го, так и не долетев до старта.

При этом инвесторы продолжают заливать в сектор сотни миллионов. В мае 2026-го индийская Skyroot стала первым «единорогом» космического приборостроения страны накануне первого орбитального пуска. Испанская PLD Space подняла раунд на 209 млн долларов. Немецкие, японские, китайские стартапы выкатывают на стартовые столы машины, собранные по принципиально новым производственным правилам.

Что это – коллективное безумие или признак того, что мы неправильно считаем? Ответ в том, что легкий носитель перестал быть «дешевым доступом в космос». Он стал чем-то другим: высокотехнологичным сервисом точной доставки и индикатором здоровья всей наукоёмкой

промышленности страны. Но бизнес-модель у этого сервиса до сих пор работает в убыток почти у всех. Эти две правды нужно держать в голове одновременно, иначе материал превращается либо в панегирик 3D-печати, либо в некролог.

Кому нужны малые ракеты сегодня

Десять лет назад типичным заказчиком была университетская команда с тремя кубсатами, готовая ждать год до ближайшего попутного пуска. Сегодня клиент повзрослел. Главные потребители – операторы группировок дистанционного зондирования Земли высокого разрешения, которым нужна не какая-нибудь орбита, а строго определенная солнечно-синхронная плоскость с конкретным местным временем прохождения экватора (LTAN). Для радарной или оптической съемки время прохождения определяет освещенность сцены, то есть саму ценность данных.

И вот здесь проходит водораздел. Falcon 9 в миссии Transporter вывозит десятки аппаратов в одну плоскость по бросовой цене за килограмм. Но это «автобус, который идет не в ваш район». Если спутнику нужно пересечение экватора в 06:00 и наклонение с точностью до десятых долей градуса, попутный райдшер (совместный/попутный запуск полезной нагрузки – *Авт.*) бесценен: вы летите туда, куда удобно мейн-нагрузке, и тогда, когда на-

берется пул попутчиков. Выделенный легкий носитель продает не массу, а орбиту и дату. Клиент платит премию именно за контроль над этими двумя параметрами.

Второй спрос – оборонный, и он уже не гипотетический. Концепция «реагирующего космоса» (Tactically Responsive Space) перестала быть презентацией: в сентябре 2023-го Firefly по миссии Victus Nox подняла спутник Millennium Space менее чем через 27 часов после команды Космических сил США. Тяжелая криогенная ракета на такое не способна в принципе – ей нужны недели заправки и развертывания. Твердотопливный или керосиновый малый носитель с минимальной предстартовой подготовкой здесь незаменим, и именно военный заказ – самый платежеспособный и терпеливый клиент сектора.

Кладбище и экономика: кто на самом деле зарабатывает

Теперь к неудобной части, которую обзоры «железа» обычно обходят. На чистом сверхлегком пуске сегодня не зарабатывает практически никто.

Посмотрите на эталон отрасли – Rocket Lab. Electron заслуженно носит титул самой часто летающей малой орбитальной ракеты: 21 пуск за 2025 год, более полусотни за историю. Казалось бы, вот она, прибыльная модель легкого класса. Но загляните в отчетность. Рекордную выручку первого квартала 2026-го (около 200 млн долларов, рост на 64% год к году) компании дают вовсе не пуски Electron, а бизнес космических систем – спутники, компоненты, оптические терминалы, контракты Агентства космического развития. В бэклоге на 2,2 млрд долларов на пусковые услуги приходится около 41%, то есть меньшая часть. И даже при всем этом операционный денежный поток у RocketLab по-прежнему отрицательный.

Вывод, который отсюда следует, для отрасли почти крамольный: сам по себе сверхлегкий пуск – это не бизнес, а маркер компетенций и входной билет в смежные,



Falcon-9 Transporter

маржинальные рынки. Rocket Lab выживает не потому, что запускает Electron, а потому, что превратилась в вертикально интегрированную космическую компанию с тремя продуктами: Electron возит малые спутники, суборбитальный HASTE возит гиперзвуковые испытания для Пентагона (контракт на 20 пусков с Anduril), а средний многоразовый Neutron строится как раз для того, чтобы наконец выйти на по-настоящему денежный сегмент.

Сам факт, что флагман легкого класса делает ставку на средний класс, – это и есть приговор экономике «чистой малой ракеты».

И отсюда же, главный урок кладбища. Все погибшие были по-своему технологичны. Relativity печатала 85% массы конструкции. ABL построила «грязно простую» контейнерную систему, которую можно развернуть, где угодно. Это не

Electron от Rocket Lab





RS-1 от ABL

спасло ни тех, ни других. Производственная новизна оказалась необходимой, но категорически недостаточной. Выживают не самые изобретательные, а те, у кого есть либо якорный заказчик (государство, оборона, длинный коммерческий контракт), либо вторая нога вне пусков (спутники, компоненты, оборонные R&D). Технология – ставка на стол, а не туз в рукаве.

Технологический крестовый поход: как это производят сейчас

Отметив все это, нельзя не признать: производственная революция в легком классе реальна, и именно здесь обкатываются решения, которые завтра перекочат в средний и тяжелый классы. Три направления.

Двигатель как единая деталь

Классический ЖРД – это тысячи деталей и сотни запаянных и сварных соединений. Аддитивные технологии позволяют печатать камеру сгорания и сопло со сложными каналами регенеративного охлаждения как монолит – каналы формируются прямо в стенке за один проход печати, а не фрезеруются и паяются по отдельности.

Самый прагматичный пример – двигатель Rutherford ракеты Electron. Его турбонасосы крутятся не горячим газом от газогенератора, а электромоторами от аккумуляторов (electricpump–forcycle). Отказ от горячего газового тракта радикально упростил конструкцию и позво-

лил поставить производство камер на поток. Счет изготовленных Rutherford идет на сотни, что для космической отрасли уже серийность.

Самый радикальный пример – Relativity Terran 1, у которой по массе было напечатано около 85% конструкции. Ракета не вышла на орбиту, а компания свернула проект в пользу среднего Terran R. Но продемонстрированный принцип (резкое сокращение числа деталей и сборочных операций) никому не делся.

Самый чистый по идее пример сегодня – не американский или европейский, а индийский. Стартап Agnikul в мае 2024-го поднял суборбитальный демонстратор Agnibaan с двигателем Agnilet – первым в мире цельнопечатным ракетным двигателем, изготовленным как одна неразъемная деталь, да еще и полукриогенным, да еще и с частной стартовой площадки.

Если искать витрину философии additivespace, то она находится в Ченнаи, а не в Калифорнии. И любой честный обзор обязан это указать.

Материалы: углепластик против стали и контейнеров

В корпусах и баках индустрия раскололась. Rocket Lab ставит на углепластик с автоматизированной выкладкой – легкий, но дорогой и плохо приспособленный к повторному использованию. Немецкая RFA наоборот делает ставку на дешевую нержавеющую сталь и двигатель замкнутого цикла Helix – дешево, но технологически сложно. А ушедшая ABL когда-то проповедовала третий путь: алюминиевые баки и вся система, помещаемая в стандартные транспортные контейнеры, чтобы стартовать с площадки без ангаров и дорог.

Поучительно, что ABL с ее элегантной контейнерной логистикой коммерческого рынка уже не существует. И это лучшая иллюстрация тезиса из предыдущего раздела: красивое производственное решение само по себе не конвертируется в выживание. Идея контейнеризации жива и важна (ее подхватили в оборонном «реагирующем космосе»), а компания – нет.

Двигатель
Rutherford



Вторая ступень
носителя Electron

Многообразие в малом классе: игра не стоит свеч?

Rocket Lab несколько лет экспериментировала с ловлей возвращаемого Electron вертолетом, эффектно поймала ступень в 2022-м. И в итоге отказалась от вертолета ради простого роста частоты пусков.

Урок: для легкой ракеты дешевле довести производство до уровня, когда одноразовый носитель становится расходником, чем городить сложную посадку ради экономии одной ступени.

Именно эту логику исповедуют немецкие RFA One и Isar Spectrum: дешевый серийный бак плюс серийный двигатель, и не нужно возиться с возвращением. Оговорка только одна, но существенная: к середине 2026 года ни RFA, ни Isar до орбиты еще не добрались. Spectrum в марте 2025-го развалился через 30 секунд после старта и с тех пор раз за разом откладывает второй орбитальный полет. RFA после взрыва ступени на огневых испытаниях в августе 2024-го полтора года переделывала машину и целит первый пуск на лето 2026-го. Так что «дешевая серийная одноразовость» – пока красивая гипотеза, а не доказанная модель.

Исключение, которое стоит отметить отдельно, – испанская PLD Space: ее Miura 5 как раз делает ставку на возвращаемую первую ступень с приводнением в океане. Это попытка доказать, что многообразие в малом классе не является монополией SpaceX. Доказательство ожидается: машина до старта тоже пока не дошла.

Геополитика и экономика: ракета как станок с ЧПУ

Для страны эффект от собственного легкого носителя выходит далеко за рамки космической программы. Это классический мультипликатор: производство ракет тянет за собой поставщиков пяти-осевых обрабатывающих центров, специальных смол, порошков для печати, криогенных клапанов, лазерных установок и испытательных стендов. Новая Зеландия после прихода Rocket Lab из страны без космической промышленности превратилась в обладателя компетенций, которые теперь расползаются по смежным отраслям. Частные космодромы – Saxa Vord на Шетландских островах и Andøya в Норвегии – становятся драйверами ВВП малых стран, конкурируя за пуски как за экспортную услугу.

Китай ведет самый организованный спринт. Государство сознательно выращивает «ракетный пояс» из частных компаний – Galactic Energy (твердотопливный Ceres-1), CAS Space (Kinetica-1), iSpace, Space Pioneer, Orienspace, Deep Blue, Land Space. В 2025 году страна поставила рекорд – 92 орбитальных пуска против 68 годом ранее.

Но картину нельзя считать триумфальной: у коммерческих игроков заметно выше аварийность, чем у государственных «Чанчжэнов». Дебют Ceres-2 в январе 2026-го закончился неудачей; фалконоподобный многоразовый Tianlong-3



Индийская ракета
легкого класса

разбился на первом пуске в апреле (и ранее прославился тем, что в 2024-м самопроизвольно сорвался со стенда во время огневых испытаний). При этом тренд очевиден: китайцы перепрыгивают через стадию одноразового легкого класса прямо в многоразовый средний – Zhuque-3 от Land Space вышел на орбиту в конце 2025-го с попытками возврата ступени, Kinetica-2 от CAS Space успешно дебютировал в марте 2026-го. До масштабов SpaceX по числу возвратов отставание огромное, но разрыв сокращается быстро.

Индия – самый недооцененный игрок в западных обзорах. Skyroot в мае 2026-го стала первым «космическим единорогом» страны накануне первого пуска орбитального Vikram-1 (подробнее о нем в разделе про флагманы). Agnikul со своим цельнопечатным двигателем уже отлетал суборбитально с собственной площадки. На фоне почти четырехсот индийских космических стартапов и дешевого квалифицированного труда это сочетание делает Индию вероятным новым центром «дешевой технологичности». Ровно тем, чем десять лет назад был Китай.

Россия представляет драматичный кейс. Государственная «Ангара-1.2» технологична в смысле универсального ракетного модуля, но экономически неэффективна именно на малых нагрузках. Это тяжелый по идеологии носитель, приставленный к легким задачам. Частные проекты (SR Rockets, НПК «Космические транспортные системы») пытаются перейти

от советской школы точного машиностроения к «гаражной» культуре стартапов на композитах и печатных камерах. Санкционное давление парадоксальным образом ускорило запрос на локализацию аддитивных установок и материалов. Вынужденное импортозамещение дает прирост компетенций в станкостроении, хотя и ценой темпа.

Европа превратила легкий носитель в инструмент технологического суверенитета напрямую. ESA запустила European Launcher Challenge, отобрав в 2025-м пятерку претендентов (PLD Space, Maia Space, RFA, Isar и Orbex; последняя уже выбыла, обанкротившись) с жестким условием: подтвердить орбитальный пуск до 2027 года. Это уже не про коммерцию, а про то, чтобы перестать зависеть от Falcon 9 в выводе собственных спутников.

Флагманы 2026–2027: кто определит облик рынка

Коротко о тех, кто будет задавать тон в ближайшие два года

Rocket Lab Neutron. Признание того, что легкого класса для прибыли мало: компания шагает в средний (13 т на НОО, многоразовая первая ступень), сохранив свои подходы – углепластик, автоматизированная выкладка, печатные двигатели. Первый пуск целят на конец 2026-го; в разработку уже вложено порядка 360 млн долларов.

Firefly Alpha → Eclipse. Alpha с двигателями Reaver (цикл tap-off) – машина с неровной биографией: из семи пусков к началу 2026-го полностью успешными были лишь несколько, был провал в апреле 2025-го и взрыв ступени на испытаниях в сентябре. Главный актив не безупречность, а контракты: 25 пусков для Lockheed Martin и роль провайдера «реагирующих» миссий Космических сил. Параллельно с Northrop Grumman строится средний Eclipse на двигателях Miranda.

PLD Space Miura 5. Испанский претендент на возвращаемую ступень с приводнением, ~540 кг на ССО, старт с Куру.

Свежий раунд на 209 млн (с участием Mitsubishi Electric), первый контракт с Sateliot на 2027-й, амбиция – более 30 пусков в год к 2030-му. До первого полета пока не дошел.

Skyroot Vikram-1 (Индия). Первый частный орбитальный носитель страны и, пожалуй, самый недооцененный в западных обзорах. Три твердотопливные ступени (Kalam-1200/250/100) плюс жидкостная разгонная на четырех двигателях Ramap для точного выведения; углепластиковый корпус, печатные двигатели верхней ступени; ~290 кг на ССО. Маркетингуется как «реагирующий» носитель с интеграцией и пуском за сутки. Ракету уже вывезли на космодром Шрихарикота, дебют целят на 2026-й. А накануне Skyroot стала первым космическим «единорогом» Индии, так что это один из самых обеспеченных стартов в списке.

Skyrora XL. Британская ракета на топливе Ecosene из пластиковых отходов. Экология это или удачный маркетинг, покажет время. Сейчас Skyrora – единственная в Великобритании компания с национальной пусковой лицензией, собственным производством и стендами, и она же главный претендент на активы рухнувшей Orbex. До орбиты тоже еще не летала.

Epsilon S (Япония). Твердотопливная эволюция, чья простота хранения и быстрота предстартовой подготовки идеальны для военных задач. Но подавать ее как готовый флагман нельзя. Двигатель взрывался на стенде дважды: в июле 2023-го и ноябре 2024-го, дебют многократно сдвигался. Программа в затычном кризисе доводки.

Общий знаменатель списка отрезвляющий: большинство «флагманов завтрашнего дня» к середине 2026-го либо еще не достигли орбиты, либо имеют за плечами свежие аварии. Это и есть температура рынка.

Заключение: эра не веса, а сервиса

Битва в малом классе уже не идет за доллары за килограмм. По этому показателю



теплю попутный Falcon 9 не побить и пытаться бессмысленно. Идет борьба за то, что райдшер не продает: за точную орбиту, дату пуска, скорость обработки заказа и простоту логистики. Производственные технологии – печать, электронасосы, контейнерная архитектура – превратили носитель из уникального штучного изделия в продукт, все более похожий на серийный высокотехнологичный станок.

Прогноз на конец десятилетия трезвый. К 2030 году в живых останутся три-четыре глобальных легких носителя. И выживут не самые технологичные, а те, кто прошел один из двух тестов: либо якорный заказчик (как у Firefly с обороной США или у китайских частников с государством), либо диверсификация за пределы пусков (как у Rocket Lab со спутниками и компонентами). Остальные ниши заберут гиперзвуковые платформы воздушного старта и орбитальные буксиры.

Но финальный тезис остается неизменным. Страна, владеющая производством легкого носителя, владеет не просто доступом в космос. Она владеет «фабрикой данных», остановка которой стоит экономике миллиарды.

Технологичность измеряется не маркой сплава, а способностью превратить конструкторский файл в готовое к старту изделие за дни, а не месяцы с минимумом ручного труда. В этом, а не в тяге двигателя, и есть главный производственный прорыв новой космической эры. ■

Испанская Miura

Долгожданный старт



Арман КУЛЬБЕКОВ, инженер наземной космической инфраструктуры (НКИ) TOO Aspire Launch, представитель на комплексе Байконур



Пабло РОДРИГЕС, инженер по эксплуатации и испытаниям ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры



30 апреля 2026 года в 23:00 по времени Астаны с космического ракетного комплекса «Байтерек» космодрома «Байконур» был выполнен первый испытательный пуск ракеты-носителя (РН) «Союз-5»/«Сункар» в рамках летно-конструкторских испытаний. В качестве полезной нагрузки использовался габарит-

но-массовый макет. По официальной информации, первая и вторая ступени отработали штатно, макет был выведен на расчетную траекторию. Речь идет не просто о первом пуске новой ракеты, а о проекте, который открывает новые возможности как для Байконура, так и для развития инженерных компетенций Казахстана.

Проект «Байтерек» представляет собой достаточно редкий пример нетрадиционного подхода. Казахстан получает возможность участвовать в эксплуатации



Сункар в монтажно-испытательном комплексе

и развитии инфраструктуры, предназначенной для современной ракеты среднего класса, минуя многие промежуточные этапы, через которые обычно проходят молодые космические державы.

Важной особенностью проекта является реализация концепции «безлюдного старта». Современные системы автоматизированного управления позволяют существенно сократить присутствие персонала на стартовом комплексе непосредственно перед пуском. Такой подход повышает уровень безопасности, снижает эксплуатационные риски и соответствует лучшим мировым практикам организации пусковых работ.

Однако наиболее важное значение проект имеет именно для нашей страны. В рамках программы «Байтерек» казахстанская сторона отвечает за создание, модернизацию и эксплуатацию наземной инфраструктуры комплекса. На первый взгляд это может показаться менее заметным достижением, чем создание самой ракеты, однако именно наземный комплекс является одной из наиболее сложных составляющих любой космической системы.

Эксплуатация стартового и технического комплексов требует компетенций в области криогенной техники, систем хранения и заправки компонентов топлива, энергетики, телеметрии, автоматизированных систем управления, промышленной безопасности и эксплуатации сложных инженерных сооружений. Успешный запуск означает слаженную работу сотен специалистов и десятков взаимосвязанных технологических и технических систем.

Следует отметить еще одну особенность проекта. РН «Союз-5»/«Сункар» является результатом работы российских предприятий ракетно-космической отрасли (РКО), а создание наземной инфраструктуры комплекса стало масштабной инженерной задачей, вызовом для казахстанской стороны (не без поддержки РФ). Российскими разработчиками были сформулированы технические требова-



Вывоз на старт



В полете

ния к подготовке и запуску РН, казахстанским специалистам предстояло реализовать соответствующие решения на практике.

В мире многие страны начинают формирование собственной ракетной отрасли со сверхлегких носителей грузоподъемностью от нескольких десятков до нескольких сотен килограммов. Даже успешные современные компании проходят длительный путь от малых ракет к носителям среднего класса. В этом контексте проект «Байтерек» представляет собой в определенной степени уникум, казахстанские специалисты сразу начали с наземной космической инфраструкту-



Сункар на старте

ры, способной выводить на орбиту носители среднего класса.

Именно поэтому значение проекта выходит далеко за рамки одного конкретного носителя. Освоив инфраструктуру такого масштаба, Казахстан получает практический опыт эксплуатации космического комплекса мирового уровня. В дальнейшем этот опыт может стать основой для разработки собственных космических систем, включая сверхлегкие и легкие ракеты-носители, создание которых потребует значительно меньших ресурсов по сравнению с уже освоенной инфраструктурой среднего класса.

По аналогии с авиацией большинство стран начинают путь с легкомоторных самолетов и лишь затем переходят к эксплуатации крупных авиалайнеров. Проект «Байтерек» позволяет Казахстану освоить

работы с системой, на которую по энергетике (17 тонн на низкую околоземную орбиту) приходится значительная доля мирового рынка пусковых услуг.

Запуск «Сункар» («Союз-5») открыл дорогу летно-конструкторским испытаниям, рассчитанным на ближайшие годы. Пожелаем коллегам успеха. Будем надеяться, что главным результатом проекта станут не только новые пусковые возможности, но и накопление знаний, опыта и компетенций, которые в будущем станут фундаментом для реализации собственных национальных космических программ. В конечном итоге именно инженерный опыт и способность создавать сложные наземные системы становятся тем капиталом, который определяет место государства в мировой космической отрасли. ■

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

к журналу

«Космические исследования и технологии»



Эксклюзивная информация

для руководителей, специалистов, партнеров космической отрасли.

Анализ открытых и специализированных источников, выводы для Вас.

Графика, иллюстрации, документы, персональное видео. Регулярное обновление.





*Журнал «Космические исследования и технологии» — достоверная информация
о международном космическом сотрудничестве*

