

Редакционный Совет | Editorial Board

Ерёмченко, Евгений	Eremchenko, Eugene	NeoGeography Group (Russia)
Батури́н, Ю́рий	Baturin, Yuri	Institute of the History of Natural Science and Technology (Russia)
Гордезиани, Тенгиз	Gordeziani, Tengiz	Ivane Javakhishvili Tbilisi State University (Georgia)
Горин, Свемир	Gorin, Svemir	Ss. Cyril and Methodius University (N. Macedonia)
Джендрайк, Майкл	Jendryke, Michael	Wuhan University (China)
Захарова, Алёна	Zakharova, Alena	Bryansk Technological University (Russia)
Кастрегини де Фрейтас, Мария Изабель	Castreghini de Freitas, Maria Isabel	Universidade Estadual Paulista (Brazil)
Конечны, Милан	Konechny, Milan	Masaryk University (Czech Republic)
Лепский, Владимир	Lepskiy, Vladimir	Institute of Philosophy (Russia)
Панин, Александр	Panin, Alexander	Lomonosov Moscow State University
Подвесовский, Александр	Podvesovskii, Aleksandr	Bryansk State Technical University
Романов, Алексей	Romanov, Alexey	Russian Space Systems (Russia)

Геоконтекст: Научный мультимедийный альманах. Москва: 2024. Выпуск 12. 78 с.

Главный редактор: Е. Ерёмченко (Протвино, Россия).

Двенадцатый (2024) выпуск ежегодного научного междисциплинарного альманаха «Геоконтекст».

Оглавление | Content

Ерёмченко Е.Н.
Eremchenko E.N.

Цифровая Земля и ОГАС: работа над ошибками 5
Digital Earth and OGAS: Understanding the Misconceptions

Носов Н.В.
Nosov N.V.

Навигационные системы и Цифровая Земля: от истоков к современности 22
Navigation Systems and Digital Earth: from the origins to the present

Куликов И.Н., Харламов М.М., Крючков Б.И.
Kulikov I.N., Kharlamov M.M., Kryuchkov B.I.

Цифровая навигация и обеспечение строительной деятельности 32
на Луне
Digital Navigation and Support for Construction Activities
on the Moon

Цифровая Земля и ОГАС: работа над ошибками

Е. Н. Ерёмченко

МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация

В работе рассматривается эволюция теоретических подходов к созданию кибернетических систем управления в прошлом и в настоящем на примере советской ОГАС (Общегосударственной автоматизированной системы учёта и обработки информации) и современной Цифровой Земли, используемой, в частности, при создании системы управления проектом «Пояс и Путь». С привлечением средств общенаучной методологии идентифицируется и обосновывается критический недостаток классических кибернетических систем — ограниченность их только катафатическим содержанием, что ведёт к тенденциозности при представлении обстановки и невозможности включения в среду управления не опосредованных категориями данных, в том числе принципиально не опосредуемых. Показано, что этот критический недостаток удалось преодолеть в Цифровой Земле за счёт использования уникальных свойств пространства и времени как единого метрологического каркаса для катафатического и апофатического содержания.

Ключевые слова

Цифровая Земля, ОГАС, кибернетика, апофатическое, катафатическое

Digital Earth and OGAS: Understanding the Misconceptions

E.N. Eremchenko

Lomonosov MSU, Moscow, Russia

Abstract

The paper examines the difference between theoretical approaches to the creation of cybernetic control systems in the past and in the present, using the example of the Soviet OGAS (National Automated Information Accounting and Processing System), and modern Digital Earth, used, in particular, in the creation of the Belt and Road project governmental system. Using a general scientific methodology, a critical drawback of classical cybernetic systems is identified and justified — their limitation to only cataphatic content, which leads to bias in the presentation of the situation, and the inability to include in the management environment entities non-mediated by categories, including fundamentally non-mediated ones. It is shown that this critical disadvantage has been overcome in the Digital Earth by using the unique properties of space and time as a single metrological framework for cataphatic and apophatic content.

Keywords

Digital Earth, OGAS, cybernetics, apophatic, cataphatic

Введение

Общегосударственная автоматизированная система учёта и обработки информации (ОГАС) стала легендой отечественной кибернетики. Одобрённая руководством СССР, но так и оставшаяся в итоге нереализованной, система по-прежнему вызывает споры о возможных последствиях её гипотетического внедрения. Ускорила бы она крах советской экономики, уже погружавшейся в системный кризис, или же, наоборот, спасла бы СССР и помогла бы избежать последовавшей вскоре перестройки? Насколько реалистична сама идея

формализации управления столь сложными системами, как государство, с помощью дискретных экономических показателей? Тем более государством столь разнообразным, сложным и инновационным, каким был СССР? Как следует подходить к созданию систем управления государственного и межгосударственного масштаба исходя из опыта наших дней?

Непреходящий интерес к этим вопросам поддерживается их актуальностью. Во-первых, приближающаяся к своей кульминации цифровизация на базе глобальной сети Интернет либо полностью повторяет в своей идеологии концепцию ОГАС, либо очень близка ей. Фактически цифровизация (Negroponte, 1995) и стала той самой ОГАС — но внедрённой извне, в формах, вызывающих вопросы, и в неясных целях, возможно далёких от декларируемых. Туманность перспектив и последствий цифровизации делают актуальным обсуждение ОГАС как её предшественницы. Во-вторых, в настоящее время реализуется ещё один аналогичный, но намного более сложный и амбициозный проект — межконтинентальный евразийский «Пояс и Путь» («Belt and Road», ранее — «Шёлковый путь», «Silk Road»). Этот проект рекорден и по своему пространственному охвату (Евразия, самый большой континент в мире, и ещё два других), и по количеству официально вовлечённых в проект стран¹, и по своим возможным последствиям для глобального развития, и по готовности к практической реализации, и по дошедшей до предела напряжённости геополитического противоборства, им вызванного. Система управления регионом, т. н. «Альянс Цифровые Пояс и Путь» (International Society for Digital Earth - Digital Belt and Road Alliance (ISDE-DBRAlliance) создаётся под эгидой Международного Общества Цифровой Земли (ISDE), и поэтому рассматривать проблематику, фундаментальные принципы, сходство и отличие ОГАС и современных систем аналогичного назначения следует в привязке к концепции Цифровой Земли (ЦЗ) и с учётом результатов, полученных в этой области за последние полвека (Annoni et al, 2023). Это тем более уместно, что автор и идеолог ОГАС, академик Виктор Михайлович Глушков (1923-1982), предвосхитил до некоторой степени также и элементы ЦЗ как концепции управления

¹По официальным данным, на декабрь 2023 года первичные меморандумы о взаимопонимании с инициативой «Пояс и Путь» (Belt and Road Initiative, BRI) был заключены со 151 страной мира (абсолютным большинством), из которых 145 уже приступили к реализации проекта. Из этих 151 страны 65 расположены в Европе и в Азии (за исключением ближневосточного региона), 19 расположены на Ближнем Востоке и в Северной Африке (с учётом государства Палестина их 20), 22 — в Латинской Америке и в Карибском заливе, 44 — в Африке южнее Сахары. В проекте участвуют 17 стран-членов ЕС и 8 стран группы G20 (Nedopil, 2023).

пространственно распределёнными системами, и в этом качестве признан мировой наукой (Baturin et al, 2020).

Методология

Изучение систем общегосударственного управления в силу их всеохватности требует привлечения методологического инструментария на базе общенаучных методов и подходов — к таковым в данном случае следует отнести диалектический, семиотический, эмпирический, сравнительный методы, холистический подход, философские апофатический и катафатический методы, метод формализации, и т. д. Методология исследования особенностей ЦЗ основывается на базе сравнительного, эмпирического методов и в полной аналогии с подходом, использованным Лобачевским при создании «новой геометрии» — разрешение проблемы за счёт качественного расширения проблемной области и критического пересмотра базовых установок, выявления аналогов прежде считавшегося уникальным феномена и формирования новой типологии, а тем самым «конвенционализации» проблемы (Караваев, Коломийцев, 2022). Холистический метод используется, в частности, по аналогии с методом, применённым Гансом Селье при открытии стресса (Селье, 1987) для выявления общих свойств у множества частных феноменов. В сочетании с методом фальсификации Поппера он может быть использован для дискриминации гипотез (Ерёмченко и др., 2022). При необходимости к исследованию привлекаются специфические методы и подходы частных дисциплин.

Идея ОГАС разрабатывалась в СССР начиная с 1950-х гг. и была доведена до концептуальной завершённости в 1970-е гг. Её основные положения — организация безбумажного документооборота и создание единой среды управления экономическими процессами — были изложены в цикле работ, в частности (Глушков, 1975; 1981). Концепция ОГАС близка по идеологии глобальной цифровизации и даже в деталях предвосхищает по-прежнему актуальные для неё задачи. Например, в первоначальном проекте ОГАС предполагалась замена материальных платёжных инструментов, банкнот и монет, их электронными аналогами — эта задача по-прежнему стоит на повестке дня у современных цифровизаторов и последовательно продвигается ими (Srouji, 2020).

Революционность ОГАС и исключительно высокие научные, технологические и организационные риски, с ней связанные, естественно порождали скептицизм. Можно

допустить, что он сыграл свою роль в свёртывании проекта, доведенного поначалу до высшей степени признания руководством СССР — включения в программу IX пятилетки в материалах XXIV съезда КПСС в 1971 г. (Стенографический отчёт, с.92). Опасения могли быть вызваны также обескураживающими результатами других аналогичных проектов, осуществлявшихся в тот же период. В этом качестве следует упомянуть в первую очередь очень короткую, но яркую и двусмысленную историю Cybersyn («cybernetics» + «synergy») — проекта автоматизированного управления экономикой Чили. Он был разработан под руководством британского кибернетика Энтони Стаффорда Бира, определявшего кибернетику как науку эффективной организации (Beer, 1975, p.425), поддерживался президентом Чили Сальвадором Альенде, активно реализовывался, носил системный характер, предполагал формализацию национальной экономики в виде Chilean Economy Model (CHNECO), в кратчайшие сроки продемонстрировал свои возможности и был прекращён² в день путча и гибели президента, 11 сентября 1973 г. (Espejo, 2014). Высказываются различные мнения о характере связи проекта Cybersyn с путчем генерала Пиночета, однако сам факт такой связи вполне очевиден. С одной стороны, известные неудачи Cybersyn и в целом результаты, далёкие от ожидаемых, могли способствовать дезорганизации экономики, снижению поддержки президента Альенде в стране и тем самым косвенно способствовать успеху путча. С другой стороны, отдельные успехи системы, ощущение исходящей от Cybersyn угрозы и особенно её идеологическая подоплёка (социализм без бюрократии³) мотивировали путчистов и их идеологов (Espejo, 2014, p.85). В любом случае непродуманное развёртывание систем государственного и межгосударственного управления способно дестабилизировать геополитическую обстановку, поэтому все связанные с такими системами риски должны рассматриваться с предельным вниманием ещё на этапе проектирования. В первую очередь речь идёт о рисках научных как наиболее фундаментальных. Чтобы избежать их, необходимо критически

2С. Альенде был избран президентом Чили на выборах 4 сентября 1970 г., в ноябре 1971 г. он впервые встретился с Биром (Ortiz Osoria, Díaz Nafra, 2016, p.11), в октябре 1972 г. уже введённый к тому времени в строй Cybersyn позволил успешно купировать инспирированную ЦРУ политическую забастовку (Espejo, 2014, p.84), 11 сентября 1973 г. президент Альенде был убит, и проект был прекращён путчистами в тот же день (Espejo, 2014, p.80).

3Энтони Стаффорд Бир якобы был осведомлен о работах Троцкого и при работе над Cybersyn вдохновлялся идеей избавления социализма от бюрократии («Beer also read Trotsky and found some inspiration in Trotsky's critique of the Soviet bureaucracy» (Medina, 2019)). Но бюрократия — это не результат вмешательства субъекта в управление, это закономерное и неизбежное следствие опосредования управления категориями и семиотическими конструкциями. В цифровой экономике такое опосредование доходит до своей кульминации, поскольку отныне знаки обретают первичный статус, а их материальные носители, в т.ч. человек, становятся вторичны по отношению к ним.

рассмотреть научную проблему во всём комплексе её оснований — явных и неявных.

Постановка задачи

Фундаментальным научным основанием кибернетики является неявное допущение возможности полного дублирования сущего с помощью семиотических инструментов, или формализации, посредством отождествления любой сущности с категорией и описания её с помощью знаков, вне которых, как предполагается, мышление немислимо⁴. В философской терминологии такой «оптимистический» подход называется катафатическим⁵, и в эпоху универсальных компьютерных знаков, «цифры», он по праву может быть назван «цифровым оптимизмом» (Ерёмченко, 2024). Катафатический подход является одной из исходных мировоззренческих интуиций и задавал развитие цивилизации вплоть до наших дней. Он воплощён в древнейших науках и практиках, экономике и картографии, является основополагающей аксиомой современных мировоззрения, естествознания и информатики, и уже (в концепции «цифрового двойника», digital twin) претендует на дублирование реальности в целом (Nativi et al, 2021) как завершающего итога глобализации (Дергачева, 2015). Впрочем, аксиомы всегда небесспорны и требуют критического пересмотра.

Со времён глубокой древности у катафатического подхода есть хорошо разработанная альтернатива, утверждающая принципиальную невозможность описания мира с помощью категорий — апофатический подход. В европейской философской традиции он глубоко разработан в неоплатонизме. Это учение возникло на закате эллинистического периода, но ни в коей мере не утратило своей актуальности и сегодня — русский философ А.Ф. Лосев в известной работе «Неоплатонизм, изложенный ясно, как солнце» (Лосев, Тахо-Годи, 2003) убедительно вывел идеи неоплатонизма из бытовых реалий наших дней, а также показал их критическую важность в нашу эпоху.

Неоплатонизм указывает, что сутью всего сущего является Единое, принципиально непредставимое посредством категорий и, соответственно, не описываемое с помощью знаков. Категории и всё семиотическое могут эманировать на далёкой периферии Единого, но возникающее при этом катафатическое «знание» в виде системы категорий ситуативно,

4«...единственные мысли, которые можно познать, мыслимы в знаках» (Пирс, 2000)

5Катафатический и апофатический подходы в философии и в теологии утверждают соответственно возможность описания всей реальности в категориях и знаках, и принципиальную невозможность такого описания (Философский энциклопедический словарь, 1983, с.32;с.251).

эфемерно, заведомо искажено, мировоззренчески ничтожно и даже субъективно неприемлемо⁶.

Разумеется, апофатический подход не формализуем и поэтому несовместим с существующими кибернетическими системами управления, допускающими рассмотрение исключительно того, что может быть опосредовано категориями. Однако при этом он не удалён и от кибернетики, ибо даже она в своей практической деятельности пришла к выводам, аналогичным неоплатонизму. Речь идёт о т. н. проблеме «онтологии верхнего уровня» — невозможности сведения воедино различных частных концептуализаций⁷. С точки зрения философии это означает, что онтология верхнего уровня, т. е. фундаментальная основа систем управления, является апофатической и не может быть представлена категориями и описана знаками. В этом кибернетика солидарна с неоплатонизмом, обсуждаемы лишь относительные пределы возможной формализации с той и иной точек зрения.

Материалы исследования

Полярная несовместимость катафатического и апофатического подходов на протяжении всей истории человечества разделила культуру надвое и препятствовала привлечению их обоих к целесообразному и устойчивому, органичному управлению при том, что ценность каждого из них очевидна и научно признана. Впервые преодолеть данное противоречие удалось только в ЦЗ, или неогеографии (Батурин, 2022, с.88) — среде управления, предложенной в 1990-е гг. вице-президентом (1993-2001) США Альбертом Гором (Gore, 1998), реализованной впервые в проекте Terravision⁸ и позднее, в 2005 г., воплощённой в сервисе Google Earth⁹, по сей день остающимся её эталоном. Интересно, что несмотря на новизну ЦЗ, она неоднократно, ясно и недвусмысленно предвосхищалась — в частности, в русской культуре (Ерёмченко, 2019), как цель и «волшебный» горизонт развития географии, на котором будут преодолены неустранимые недостатки карт и

⁶Философ А.Ф. Лосев прямо заявлял о неприемлемости для него сведения даже философии, а следовательно и науки вообще, к системе категорий: «Я, слава Богу... не философ, если под философией понимать систему категорий» (Лосев, Тахо-Годи, 2003, с. 273).

⁷Согласно одному из определений, онтология (в кибернетическом смысле) — это исчерпывающе полная инструкция по концептуализации («An ontology is an explicit specification of a conceptualization») (Gruber, 1993).

⁸<https://artcom.de/en/?project=terravision>

⁹<https://earth.google.com>

зависимых от них институтов управления¹⁰. Действительно, ЦЗ качественно отличается от карт и картографических продуктов (карт, атласов, глобусов, геопорталов и т. д.) немасштабностью и внекурсностью, а тем самым и возможностью обеспечить, также впервые, ситуационную осведомлённость (Endsley, 1995). Появление ЦЗ как альтернативы картам позволило провести сравнительный анализ разных методов работы с геопространственной информацией, выявить типологию геопространственных визуализаций и показать, что ЦЗ является одним и наиболее функционально полным из четырёх её возможных типов и итогом внутреннего диалектического развития картографического метода (Baturin et al, 2019), пересмотра трёх принципов картографического метода¹¹ и выработки новых определений (Eremchenko, 2020). Уникальные свойства ЦЗ достигаются за счёт отказа от использования знаков, не требующихся для восприятия ситуации и принятия точных управленческих решений в реальном масштабе времени (Eremchenko, 2023)¹². Эта задача может быть успешно решена с помощью прямого чувственного восприятия обстановки¹³ с помощью «не-знаков», или «нулевых знаков», находящихся вне области семиотического. Они точно и полно воспроизводят обстановку без категоризации (формализации) и позволяют обеспечить высокий эвристический потенциал системы — ключевое условие устойчивой выработки разумных управленческих решений. Классические знаки также могут включаться в ЦЗ, но ситуативно, по мере необходимости.

С точки зрения философии ЦЗ является смешанной (гетерогенной) системой, включающей в себя и апофатическое, и катафатическое, условные соотношения их объёмов в разных упоминавшихся выше концепциях показаны на рис. 1.

ЦЗ уникальна тем, что не только признала информационную ценность апофатического начала, но и утвердила его доминанту и позволила — впервые в истории — совместить апофатическое с катафатическим в едином, метрически точном пространственно-временном объёме, и тем самым вовлечь их совместно в процесс принятия решений. Достигается это за счёт отказа от обязательного категориального опосредования (ответа на вопрос «что?») и

¹⁰Наиболее ярким и широко известным, хотя и не единственным в русской культуре примером такого предвосхищения является «волшебный глобус» из романа М.А. Булгакова «Мастер и Маргарита». Важно отметить, что он изначально был представлен атрибутом власти и средой глобального управления, осуществляемого с волшебными прецизионностью, стремительностью, безошибочностью и адресностью.

¹¹«1) математически определенное построение; 2) использование особых знаковых систем (картографических символов); 3) отбор и обобщение изображаемых явлений» (Салищев, 1990, с.5).

¹²Строго говоря, ЦЗ не является «цифровой» – скорее, наоборот.

¹³Диалектика формирования беззнакового образа с помощью цифровых систем рассмотрена в работе (Eremchenko, 2022).

перехода к восприятию обстановки в едином пространственно-временном объёме («где?» и «когда?»), необходимым и достаточным для идентификации феномена¹⁴. При этом возможность представления с помощью категорий и, соответственно, знаков также сохраняется.

Указанные соображения позволяют обозначить рубеж, отделяющий классические кибернетические системы (и, в частности, ОГАС) от систем на базе ЦЗ. Классическая кибернетика предполагает, что используемая в управлении информация неизбежно опосредуется категориями и может быть представлена исключительно знаками, сводимыми к знакам математическим («цифровым»).

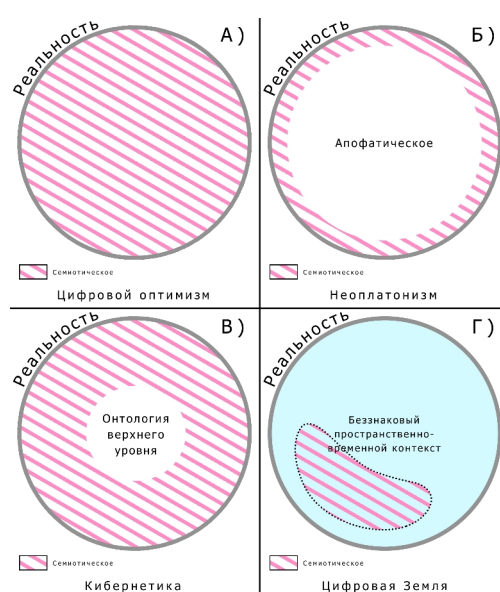


Рис. 1, а-г. Слева направо, сверху вниз. Соотношение реального и семиотического в различных мировоззренческих моделях: а) цифровой оптимизм; б) неоплатонизм; в) кибернетика; г) Цифровая Земля
 Источник: (Ерёмченко, 2024)

В максимально упрощённом случае экономики единственным управляющим параметром принимается стоимость, выражаемая предельно простой величиной — дискретным безразмерным скалярным значением. Но всё многообразие реального мира невозможно представить с помощью исключительно семиотических инструментов (рис. 2) и

¹⁴На возможность однозначной локализации в пространстве и визуального восприятия даже непредставимого с помощью категорий и несводимого к их сумме апофатического феномена и эвристическую достаточность такой локализации указывал А.Ф. Лосев, используя метафору Единого как сада: «Но где же находится такой сад, если он не есть ни яблоня, не груша и не песок, посыпанный по аллеям? Но теперь уже я покажу вам рукой на окружающее, и скажу: а вот где, смотрите!» (Лосев, Тахо-Годи, 2003, с.281). Иным проявлением того же свойства является принципиальная невозможность существования реального или умопостигаемого феномена, который не был бы локализован так или иначе в пространстве и во времени (Kant, 1781), что превращает пространство-время в общий контейнер и для реального, и для трансцендентного.

тем более бессмысленно пытаться этого достичь с помощью единственной безразмерной скалярной величины — стоимости.

В результате обстановка в оптике экономики искажается до крайней неузнаваемости, её восприятие и минимально целесообразное управление становятся невозможными. Увеличение объёмов информации, ускорение её циркуляции и тем более перенасыщение её иными «деньгоподобными» скалярными показателями — рейтингами (Ерёмченко и др., 2019), биржевыми индексами, криптовалютными платёжными инструментами, цифровыми двойниками (McCausland, 2021), социальными индексами и т. д., составляющее единственную суть «цифровой экономики», лишь усиливают хаос и усугубляют тем самым и без того безнадёжную ситуацию.

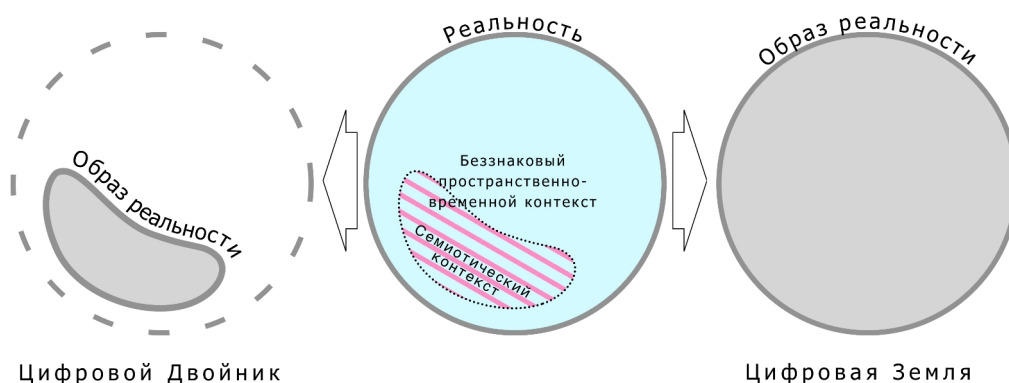


Рис. 2. Степень полноты отображения обстановки при ее представлении в Цифровой Земле в беззнаковой форме (слева), и при представлении в опосредованном исключительно знаками режиме цифрового двойника (справа), на основе (Ерёмченко, 2024)

Обсуждение результатов

Система ОГАС претендовала на организацию устойчивого общегосударственного управления, однако изначально создавалась для целей управления только лишь экономикой и только лишь с помощью «экономических механизмов управления» (Глушков, 1975, с.4). Как и все кибернетические системы той эпохи, она исходила из допущения возможности полной формализации обстановки, что в реальности невозможно — формализуемое есть лишь исчезающе малая её толика. Поэтому в случае своей реализации ОГАС привела бы к формированию искажённого представления об обстановке и к подмене цели развития государства развитием только лишь формального, нежизнеспособного симулякра — совокупности условных индикаторов и экономических показателей. Какими бы

изошрёнными эти индикаторы и показатели ни были, их использование в принятии решений в силу одной их полной отчуждённости от реальности и бессистемности неизбежно привело бы к быстрому и прогрессирующему рассогласованию системы как целостности — и ход глобальной цифровизации сегодня наглядно это демонстрирует. Симулякр обстановки порождает симулякр управления ею. Устойчивое управление, не ведущее к разрушению мира как социо-техно-природной реальности (Демиденко, Дергачева, 2023), невозможно обеспечить с помощью кибернетики, использующей исключительно семиотические инструменты, поскольку формализация несовместима с управлением в субъект-объектных системах.

Для этого необходима иная, работоспособная субъект-объектная кибернетика, способная представлять реальность во всей её полноте как во второстепенном катафатическом, так и в основном, невыразимом с помощью категорий и непредставимом с помощью знаков апофатическом аспектах. Такую кибернетику можно назвать «апофатической», она базируется на холизме и на признании доминантой управления принципиально неформализуемого — а следовательно предполагает отказ от требования формализации. Вплоть до последнего времени такая задача считалась безусловно неразрешимой в силу абсолютной противоположности и несовместимости формализма и холизма. В ЦЗ впервые в истории удалось совместить апофатическое и катафатическое в единой, метрически точной информационной среде, точно воспроизведя суть мира реального. Это стало возможным благодаря использованию пространственно-временного контейнера, не опосредованного знаковыми условностями (рис. 3). С одной стороны, такой контейнер вмещает в себя всё трансцендентное, а следовательно в некотором смысле он ещё более трансцендентен, нежели само трансцендентное. Но при этом содержащееся в нём (в том числе трансцендентное) становится познаваемым, поскольку в пространстве-времени субъект может чувственно воспринимать обстановку в обеих её компонентах — и апофатической, и катафатической. Межсубъектное взаимодействие в этом случае возможно благодаря ещё одному парадоксальному свойству пространства и времени, требующему отдельного рассмотрения — межсубъектной инвариантности.

Апофатическая кибернетика предполагает отказ от очевидно бесплодных попыток формализации заведомо неформализуемого. Наоборот, она утверждает необходимость целостного восприятия обстановки без её предварительной категоризации. Именно такое восприятие является основным и критически необходимым эвристическим ресурсом, без

которого выработка сколь-нибудь разумных и целесообразных решений в реальных субъект-объектных системах невозможна.

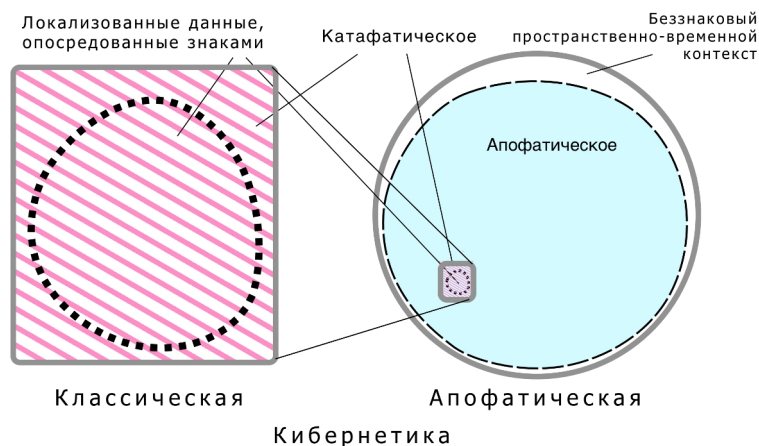


Рис. 3. Степень полноты отображения катафатического и апофатического аспектов обстановки в классической (слева) и апофатической (справа) кибернетиках.

Неслучайно поэтому система управления регионом «Пояс и Путь» создаётся именно под эгидой Международного Общества Цифровой Земли (ISDE) и в парадигме ЦЗ. ЦЗ также привлечена к постановке и решению задачи достижения т. н. «целей устойчивого развития» ООН (Metternicht et al, 2020) по преодолению диспропорций, возникающих вследствие использования классической парадигмы формализованного управления. Архитектура системы в виде не опосредованной знаковыми условностями модели геоцентрического пространства на базе данных дистанционного зондирования позволит идентифицировать факторы и риски ещё до их идентификации с помощью категорий, избежать кризиса тенденциозного восприятия обстановки, но сохранит возможность включения в образ обстановки любых произвольных знаковых и в том числе скалярных величин¹⁵ там и тогда, где и когда это необходимо.

Выводы

1. Базовым умолчанием и аксиомой классической кибернетики является допущение возможности выражения любых сущностей посредством категорий и представления их с помощью «цифровых» знаков. Знаковый образ сущего тождествен сущему или объемлет его — это декларативное допущение можно назвать «цифровым оптимизмом» и пределом

¹⁵Например, разрабатываемой в настоящее время концепции социальных индексов (Wong, Dobson, 2019).

мировоззренческих претензий формализации как цивилизационной парадигмы. Его рассмотрение в оптике противоположных друг другу катафатического и апофатического подходов позволяет, во-первых, выявить недостаточность только лишь катафатического подхода, проявлением которого является «цифровой оптимизм», и, во-вторых, показать, что к этому очевидному выводу пришла не только философия, но и классическая кибернетика. Целостное представление обстановки требует включения в неё как категориально опосредованного катафатического, так и апофатического — того, что в принципе не может быть выражено категориями и представлено знаками. Очевидно, что такое требование невыполнимо в классической кибернетике.

2. Вместе с тем это требование может быть выполнено, если использовать уникальный статус пространства и времени. Любые сущности, даже апофатические, не могут не быть локализованы в пространстве и во времени в силу уникального, не эмпирического статуса этих «априорных форм чувственности» (И. Кант). Это позволяет использовать пространственно-временной каркас для позиционирования в нём любых сущностей и явлений — как опосредованных категориями и представленными знаками, так и непредставимого с их помощью апофатического. Именно этот подход впервые в истории был воплощён в ЦЗ.

3. Система ОГАС, как и все вообще кибернетические и информационные системы до появления ЦЗ, создавалась в парадигме «цифрового оптимизма» и в предположении возможности полной формализации, поэтому была принципиально неспособна достоверно представлять обстановку и способствовать устойчивой выработке целесообразных решений. В случае её практической реализации и вследствие формализации процессов она привела бы к прогрессирующему рассогласованию системы, для управления которой задумывалась. Надежды на избавление от бюрократии посредством формализации тщетны — формализация и есть бюрократия, наличие субъекта в цепи управления не порождает бюрократию, но, наоборот, до известной степени может её купировать. В цифровой экономике, нивелирующей субъекта, купирование формализации и бюрократии становится невозможным.

4. Появление и практическая реализация ЦЗ сделали возможным выход за рамки формализации и создание полноценных систем отображения обстановки и принятия адекватных решений. Соответствующий подход можно назвать «апофатической кибернетикой». В таких системах визуально достоверный геоконтекст становится

прецизионно точной основой для погружения в него как «обычных» данных, опосредованных знаками, так и восприятия апофатических феноменов. Тем самым обеспечивается необходимый эвристический потенциал системы, недостижимый при полной формализации.

5. Создание нового поколения систем управления государственного и глобального масштаба, ярким примером которых являются проект «Пояс и Путь» и концепция SDG ООН, уже осуществляется на базе ЦЗ (Guo, 2019).

6. Дальнейшее развитие методологии, фундаментальных и технических аспектов апофатической кибернетики является актуальной и критически важной, особенно для России, задачей из-за её непосредственной вовлечённости в борьбу за глобальное доминирование и за формирование новых цивилизационных принципов. При этом обучение ЦЗ становится важнейшей задачей (Дергачева, Колесник, 2022).

7. Семиотическая концепция ЦЗ как не-знаковой геопространственной среды с уникальными свойствами является основой для диалектического развития геопространственных инструментов (Комас, Gašperič, 2023) и для комплексного изучения апофатической кибернетики и смежных дисциплин, особенно с учётом её очень широкого междисциплинарного контекста. Возможность достижения в ЦЗ устойчивого целесообразного управления с совместным использованием рационального и иррационального предполагает переосмысление концепции типов научных рациональностей (Степин, 2023).

8. Формализация образа обстановки и протекающих процессов не является ни целью, ни средством организации устойчивого целесообразного управления. Необходимым условием обеспечения устойчивого управления является консолидация принципиально неформализуемой (центральной) и допускающей формализацию (второстепенной) компонент в единой среде — чувственно воспринимаемом, не опосредованном условностями пространственно-временном контексте.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №23-19-00342 «Методы и средства интеллектуального анализа слабо формализованных гетерогенных данных в управлении объектами киберфизических систем».

Список литературы

Апофатическая теология (1983) *Философский энциклопедический словарь* / Советская энциклопедия / с. 32

Батурин Ю.М. (2022) *От интернета до виртуальной Земли и метавселенной: (Краткая история информационных технологий на критическом рубеже)* / Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. – Москва; Саратов, 2022. – 230 с. – ISBN 978-5-00207-061-9

Демиденко Э.С., Дергачева Е.А. (2023) *Буржуазно-техногенное уничтожение биосферной жизни и земного мира: Междисциплинарное исследование* / Москва : Ленанд, 2023. – 276 с. – ISBN 978-5-9710-8476-1

Дергачева Е.А. (2015) *Концепция глобализации в контексте социотехноприродного развития* // Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика. – 2015. – № 3-4. – С. 16–22

Дергачева Е.А., Колесник Т.А. (2022) *Научно-философские проблемы образования в системе Цифровой Земли* / Bulletin of the South-Russian State Technical University (NPI) Series Socio-Economic Sciences, 15(2), 233–246. <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2022-2-233-246>

Глушков В.М. (1975) *Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС* / М.: Статистика. —1975. — С. 159

Глушков В.М., Валах В.Я. (1981) *Что такое ОГАС* / М.: Наука. —1981. — С. 160

Ерёмченко Е., Вылегжанин С., Козырева Н., Фетишев А. (2019) *Рейтинг и пределы его применения* // Геоконтекст. 2019. №7(1). С. 54–64

Ерёмченко Е.Н. *Предыстория концепции Цифровой Земли* // Геоконтекст. 2019. №7(1). С. 44–53

Ерёмченко Е.Н., Колосов В.А., Тикунов В.С. *Интегральная методология в геопространственных исследованиях* // Наука. Инновации. Технологии. – 2022. – № 2. – С. 121-138. – DOI 10.37493/2308-4758.2022.2.7

Ерёмченко Е.Н. (2023) *Цифровая Земля: геопространственная революция и ее мировоззренческие последствия* // Логос. – 2023. – Т. 33, № 1(152). – С. 221-241. – DOI 10.22394/0869-5377-2023-1-221-240

Ерёмченко Е.Н. (2024) *Основания социо-техно-природного кризиса и Цифровая Земля* / Гуманитарий Юга России. – 2024. – Т. 13. – № 3 (67). – С. 66–76. DOI 10.18522/2227-

8656.2024.3.5 EDN GAFAFT

Караваев Э.Ф., Коломийцев С.Ю. (2022) *Идеи конвенционализма в русской науке и философии* // Соловьевские исследования. – 2022. – № 1(73). – С. 155-168. – DOI 10.17588/2076-9210.2022.1.155-168

Катафатическая теология (1983) *Философский энциклопедический словарь* / Советская энциклопедия / с. 251

Лосев А.Ф., Тахо-Годи А.А. (2003) *Неоплатонизм, изложенный ясно, как Солнце* // Контекст: литературно-теоретические исследования. – 2003. – С. 269–288

Пирс Ч.С. (2000) *Избр. филос. Произв.* / Москва: Логос, 2000

Салищев К.А. (1990) *Картоведение: Учебник* / 3-е изд. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - с. 400

Селье Г. (1987) *От мечты к открытию* / М.: Прогресс, 1987. С. 368

Степин В.С. (2003) *Теоретическое знание* / М.: Прогресс-Традиция, 2003

XXIV съезд КПСС (1971) *Стенографический отчёт. 30 марта — 9 апр. 1971 г.* / Т. 1. М., Политиздат, 1971. с. 598

Annoni A., Nativi S., Çöltekin A., Desha C., Eremchenko E., Gevaert C.M.,... Tumampos S. (2023) *Digital Earth: yesterday, today, and tomorrow* // International Journal of Digital Earth. – 2023. – № 16(1). – P. 1022–1072. – DOI: 10.1080/17538947.2023.2187467

Baturin, Y.M., Eremchenko E.N., Zakharova M.I. (2019) *3D-document and digital earth* // CEUR Workshop Proceedings, Bryansk, 23–26 сентября 2019 года. Vol. 2485. – Bryansk: Без издательства, 2019. – P. 155-158. DOI: <https://doi.org/10.30987/graphicon-2019-2-155-158>

Baturin Y.M. et al. (2020) *Digital Earth in Russia* // Manual of Digital Earth. Singapore: Springer, 2020. Pp. 733–752. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_23

Beer S. (1975) *Platform for Change* / Chichester: Wiley, 1975

Endsley M. (1995) *Toward a theory of situation awareness in dynamic systems* // Human Factors. 1995. №37(1). Pp. 32–64

Eremchenko E.N. (2020) *What is and what is not the digital earth?* // CEUR Workshop Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision, Saint Petersburg. DOI: <https://doi.org/10.51130/graphicon-2020-2-3-47>

Eremchenko E.N. (2022) *Semiotics from maps to digital Earth: Conundrums and challenges* // II International Scientific Conference Landscape Dimension of Sustainable Development: Science, CartoGis, Planning, Governance. Tbilisi, 2022. Pp. 17–25.

Espejo R. (2014) *Cybernetics of Governance: The Cybersyn Project 1971–1973* // In:

Metcalf, G. (eds) *Social Systems and Design. Translational Systems Sciences*, vol 1. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54478-4_3

Gore A. (1998) *The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century* [Electronic resource]. 1998. 3 p. URL: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/99journal/may/1999_may_highlight.pdf (date accessed: 19.02.24)

Gruber T.R. (1993) *Toward principles for the design of ontologies used for the knowledge sharing* // Technical Report KSL / Knowledge System Laboratory, Stanford University. – 1993. No. 4

Guo H. (2019) *From Digital Earth to big Earth data: accelerating scientific discovery and supporting global sustainable development* // International Journal of Digital Earth, 12(1), 1 DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1559481>

Kant I. (1781) *Critique of Pure Reason* 1781. / Translated by: N. K. Smith. London: Palgrave Macmillan, 2006. p. 735

Komac B., Gašperič P. (2023) *Cartographic time travel: Reflecting the past, defining the present, and challenging the future using old maps* // Acta Geographica Slovenica. 2023; 63(2):9–21. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.13292>

Medina E. (2011) *Cybernetic Revolutionaries: Technology and Politics in Allende's Chile* / MIT Press. London, 2011. - p. 325

Metternicht G. et al. (2020) *Digital Earth for Sustainable Development Goals* // Manual of Digital Earth. Singapore: Springer, 2020. Pp. 443–471. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_13

McCausland T. (2021) *Digital Twins* // Research-Technology Management, 65(1), 69–71. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.2022.1999637>

Nativi S.; Mazzetti P.; Craglia M. (2021) *Digital Ecosystems for Developing Digital Twins of the Earth: The Destination Earth Case* // Remote Sens. 2021, 13, 2119. <https://doi.org/10.3390/rs13112119>

Nedopil C. (2023) *Countries of the Belt and Road Initiative* / Shanghai, Green Finance & Development Center, FISF Fudan University, www.greenfdc.org

Negroponte N. (1995) *Being Digital* / New York: Alfred A. Knopf., 1995. – 243 p. – ISBN 0-679-43919-6

Ortiz Osoria H.M., Díaz Nafria J.M. (2016) *The Cybersyn Project as a Paradigm for*

Managing and Learning in Complexity // Systema 4(2):10-19

Srouji J. (2020) Digital Payments, the Cashless Economy, and Financial Inclusion in the United Arab Emirates: Why Is Everyone Still Transacting in Cash? // J. Risk Financial Manag. 2020, 13, 260. <https://doi.org/10.3390/jrfm13110260>

Wong K.L.X., Dobson A.S. (2019) *We're just data: Exploring China's social credit system in relation to digital platform ratings cultures in Westernised democracies* // Global Media and China, 4(2), 220-232. <https://doi.org/10.1177/2059436419856090>

Навигационные системы и Цифровая Земля: от истоков к современности

Никита Носов
ИИЕТ РАН им. С.И. Вавилова, Москва, Россия

Аннотация

В статье рассмотрена история развития навигационных систем – от первых карт и ориентиров до современных глобальных навигационных спутниковых систем, являющихся частью Цифровой Земли. Навигация является важным элементом жизни общества: как во времена до нашей эры, так и в новейшей истории. В совокупности с идеей Цифровой Земли навигация позволяет не только решать практические задачи, но и изучать нашу планету.

Ключевые слова

История навигации, навигационные системы, Цифровая Земля

Navigation Systems and Digital Earth: from the origins to the present

Nikita Nosov
S.I. Vavilov IHST RAS, Moscow, Russia

Abstract

The article examines the history of the development of navigation systems – from the first maps and landmarks to modern global navigation satellite systems that are part of the Digital Earth. Navigation is an important element of society: both in the time before our era and in modern history. Together with the idea of a Digital Earth, navigation allows you not only to solve practical problems, but also to study our planet.

Keywords

Digital Earth, Navigation History, Navigation Systems

Введение

Вопреки расхожему мнению, история навигационных систем берет свое начало гораздо раньше второй половины двадцатого века. Термин «навигация» (лат. navigation, от лат. – navigo – «плыть на судне») означает судоходство, мореплавание (Словарь русского языка, 1999). В современном употреблении этот термин имеет несколько иной смысл. Под навигацией понимается уже не само перемещение, но управление им, ориентирование. Применим он уже не только к морским судам: в поездках на автомобилях, при перелетах на самолетах и даже в пеших походах и прогулках сложно обойтись без системы навигации.

Обсуждение

Одними из первых ориентиров для мореплавателей стали природные. При

прохождении судов вдоль берега можно было ориентироваться на береговую линию, ее рельеф, позже появились маяки. Еще одним способом было использование птиц – моряки брали с собой клетки с птицами (чаще всего это были вороны), выпуская их на волю. Возвращение птицы означало, что суша достаточно далеко. В ином же случае делался вывод, что птица нашла сушу и можно двигаться в направлении траектории ее полета. Однако такой способ нельзя было назвать надежным и точным.

Ориентирование проводилось и по небесным объектам, таким как Солнце, звезды. Всем известна Полярная звезда, являвшая собой основной ориентир Северного полушария. Для Южного полушария созвездие Южного Креста можно назвать аналогом Полярной звезды. Тем не менее, поиск этого созвездия мог вызывать определенные сложности, как и ориентирование по нему. Возможность использования небесных тел не всегда доступна: в частности, в плохую погоду можно не увидеть на небе ни Солнца, ни звезд. Появлялась необходимость в менее зависимых от внешних условий ориентирах, одновременно с тем обладающих более высокой точностью. Одним из самых первых подобных инструментов можно назвать карту. И если на суше пути движения между поселениями были более-менее известны, существовали системы указателей, прилегающие к населенным пунктам пути можно было легко нанести на карту, то в условиях морей и океанов для передвижения и ориентации имелись существенные трудности.

Картой можно назвать обобщённое изображение поверхности Земли, представленное в определенном масштабе, с использованием условных символов и обозначений. Здесь стоит отметить, что карта, в отличие от современных систем, не обладает свойством всемасштабности. Прообразом современной карты можно назвать карту Имхотепа, созданную примерно за 2600 лет до нашей эры. Целью этой карты ставилось распределение земельных участков в Древнем Египте¹⁶.

Наиболее древней картой мира считается карта из Вавилона (6 век до нашей эры). Вавилонское царство изображено в центре мира, а вокруг несколько недоступных островов. Чуть позже появляются карты мира: Гекатея Милетского (5-6 век до нашей эры), Посидония (2 век до нашей эры), Помпония Мелы (43 год нашей эры), Птолемея (150 год нашей эры), Козьмы Индикоплова (6 век нашей эры), «Книга Рожера» Аль-Идриси (1154 год), Китайская «Da Ming Hunyi Tu» (14 век нашей эры), Иоганна Рюйши (1507 год, одно из первых

¹⁶<https://mapny.ru/blog/cartography-history/?ysclid=lomx96d16s417251047>

изображений Нового Света), Генриха Бантинга (1581 год)¹⁷. К 1689 году появляется карта мира Герарда ван Шагена, на которой пустыми остаются лишь некоторые части Америки и район южного полюса. Сэмюэлем Данном в 1794 году представлена карта мира с максимально корректным расположением суши и воды (с учетом данных Джеймса Кука). Важной частью карт стало добавление данных о широте и долготе, сделано это было Птолемеем, примерно в 150 году нашей эры. Частично последовательность развития карт приведена на рис. 1.



Рис. 1. Последовательность развития картографии

Но и карты с их довольно незначительным масштабом, а также с учетом длительного внесения изменений не могли претендовать на звание качественной навигационной системы. Однако комбинация карт и иных инструментов для навигации давала хороший результат.

Одним из первых изобретений, помогающих прокладывать путь, можно назвать

¹⁷<https://flytothesky.ru/18-drevnix-kart-mira-glazami-nashix-predkov/?ysclid=lomxkmhf6n957011654>
<https://mapny.ru/blog/cartography-history/?ysclid=lomx96d16s417251047> (дата обращения 25.07.2023)

изобретение Древнего Китая – прообраз компаса (Цзо-бэнь, 1959). Различные источники предлагают два варианта на эту роль. Первый из них называется «цы-ши» (в переводе цы – «материнская любовь, ши – «камень»). В древних книгах такое устройство упоминалось под названием «ведающий югом». Внешний вид напоминал ложку на пластине (рис. 2). Места их соприкосновения были отполированы, а изготовлены предметы были из природного магнитного железняка и меди, соответственно.



Рис. 2. Цы-ши, ведающий югом

Еще одним претендентом на прообраз компаса считается чи-нан (указатель юга) (Корякин, 1994). Стоит отметить, что эта версия больше распространена в научно-популярной литературе, но встречается и в специальной. Это изобретение устанавливалось на колесницу и представляло собой фигурку в виде человека с вытянутой рукой. Изготавливались они из нефрита со встроенным магнитом, благодаря которому фигурка всегда обращалась на юг. В частности, в некоторой литературе имеются указания на использование подобных приспособлений императором, что позволило ему одержать победу в условиях плохой видимости из-за тумана и пыли (около 2500 года до нашей эры). В дальнейшем устройство претерпело изменения, а также распространилось по континентам. Стоит отметить, что и в современном мире компас по-прежнему является востребованным навигационным инструментом.

Историческое развитие астрлябии начинается с третьего века до нашей эры (Масликов, 2017). Термин имеет греческое происхождение (значение слов: «звезда» и «брать»), что означает «взять звезду с неба». С помощью устройства можно получить данные об азимуте небесного тела, а также узнать время. Впоследствии астрлябия

распространилась на Восток, а также и в Европу. Мастерами использовались списки со звездами, которые применялись при создании астролябий. Нанесение информации о более чем 30-40 объектах было невозможным из-за трудностей при работе с астролябией. В основе большинства списков была информация, подготовленная Птолемеем. Изображение прибора приведено на рис. 3.



Рис. 3. Астролябия

Помощником в навигации и составлении карт можно назвать одометр. Данные о времени и регионе его появления разнятся. Но ориентировочно можно говорить о рубеже начала нашей эры. Это устройство, состоявшее из рычагов, «VELO СЧЕТ» оборотам колеса, сообщая о прохождении того или иного расстояния. Так, в Китае одометр уведомлял о каждой пройденной ли (китайская верста, современное значение которой составляет 500 метров) и о десяти ли. Аналогичное устройство отмеряло римскую милю.

Квадрант и секстант использовались для нахождения углового расстояния от горизонта до звезды. Первое из названных устройств появилось примерно во втором веке нашей эры, считается, что изобретен он был Птолемеем. Представляет собой квадрант четверть круга с нанесенной шкалой, с помощью трубки или пластин происходит прицеливание. Секстант появился чуть позже, около 994 года, и состоит из $1/6$ части круга, а также прицела и,

впоследствии, линз.

Развитие и совершенствование средств навигации происходило на протяжении веков, на помощь приходили новые знания и возможности. Однако основные идеи были заложены в древности. В течение столетий претерпевали изменения не только рассмотренные выше предки «навигационных систем», но предлагались различные идеи, так или иначе способствовавшие и облегчавшие непростую задачу навигации по нашей необъятной планете. Среди таких можно отметить, например, лаги (для измерения скорости судна), проекцию Меркатора, часы и хронометры, равноугольную поперечно-цилиндрическую проекцию, гироскоп, механический акселерометр и т.д. На сегодняшний день используются современные технологии, но в основе навигационных систем лежат все те же принципы, в частности карты, ставшие гораздо более точными благодаря спутниковым системам.

С появлением новых видов транспорта возникла необходимость использования систем навигации не только в море – автомобили и летательные аппараты также требовали подобных решений.

Отдельного внимания заслуживает «навигатор», появившийся в Англии в 1920 году, «Plus Fours Routefinder Watch»¹⁸. Этот экземпляр напоминал наручные часы со сменным набором карт (рис. 4), на которых были отмечены основные точки выбранного маршрута – необходимые повороты, километраж и населенные пункты, – проезжая которые водитель прокручивал карту в своем устройстве, «обновляя» свое местоположение и ближайший отрезок пути.

Необходимо упомянуть и одограф – устройство, изобретенное французским инженером Вилье (Дрожжин, 1936). Одограф в связке с лагом чертил пройденный путь на карте (с учетом масштаба карты) при помощи карандаша, улавливая изменения не только скорости транспорта, но и направления. Во время Второй мировой войны подобные одографы использовались и на автомобилях¹⁹.

¹⁸<https://expeditionportal.com/was-the-1920s-plus-fours-routefinder-watch-an-ultimate-failure-or-ahead-of-its-time>

¹⁹<https://cartogis.org/docs/proceedings/archive/auto-carto-8/pdf/automobile-navigation-in-the-past-present-and-future.pdf>



Рис. 4. Plus Fours Routefinder Watch

Начало современным навигационным системам положила эра освоения космоса. Знаковым событием этого периода стал запуск первого искусственного спутника в 1957 году. Дальнейшее развитие систем спутников определило направление совершенствования навигационных систем, позволяя решать сразу несколько важнейших задач. Спутники можно разделить на несколько типов, в частности: спутники наблюдения и навигационные спутники (Гура и др., 2016). Первые служат для мониторинга местности и получения подробнейшей информации о поверхности Земли. Вторая группа спутников – навигационная – позволяет не только определять местоположение объектов, но и скорость с направлением движения. Американская программа спутниковой навигации стартовала в 1973 году, получив название Global Position System (GPS). 14 июля 1974 года был запущен первый такой спутник (Shi, Wei, 2020). В самом начале к системе имели доступ военные, в гражданский же оборот технология попала позже, при этом точность определения координат была значительно ниже, чем у военных. Только в 2000 году Б. Клинтон снимает ограничения, позволяя повысить точность и для использования в гражданских навигационных системах. Аналогичная система в СССР была создана под названием «ГЛОНАСС» (Глобальная навигационная спутниковая система), первый спутник «Ураган» которой был выведен на

орбиту 12 апреля 1982 года (Гура и др., 2016). Работа над «ГЛОНАСС» продолжилась и после 1993 года. На данный момент система располагает 25 спутниками, в то время как у GPS их 32²⁰. Важно отметить, что такие системы существуют не только у России и США, в Китае – Beidou, в Европе – Galileo, в Индии – IRNSS. Интерес к Galileo проявляли и другие страны, в частности Австралия, Аргентина, Малайзия, Мексика, Япония.

Естественным развитием концепции спутниковой навигации стала предложенная в конце XX в. вице-президентом США А. Гором (Gore, 1998) идея Цифровой Земли — агрегатора данных о планете, основу которой составляют спутники — навигационные и дистанционного зондирования. В отличие от составляемых вручную карт на протяжении веков такая система позволяет добиться высокой точности, а процент ошибок свести к минимуму. В соответствии с Пекинской декларацией о Цифровой Земле²¹, она является неотъемлемой частью современных технологий, одну из которых представляют навигационные системы. Более того, можно сказать, что навигация — не только базовое понятие для Цифровой Земли, но и обязательное, приоритетное направление развития. В Manual of Digital Earth (Guo et al, 2020) отделяют мировую навигационную спутниковую систему от персональной и транспортной. Последние позволяют планировать перемещения человека как для личных, так и для рабочих нужд. За последние годы навигационные технологии достигли существенного прогресса, от отдельных устройств (с предварительно загруженными картами) до приложений в смартфонах, определяющих местонахождение человека за секунду, а также предлагающих оптимальный маршрут и способных привести в конечную точку, а в случае необходимости даже вызвать помощь. Конкуренция частных компаний активизировала рынок позиционных и навигационных систем для создания детализированных карт, включая все необходимые точки. Позиционные и навигационные программные приложения, например, мобильные приложения и автомобильное программное обеспечение, играют важную роль в реализации концепции Цифровой Земли.

Глобальные навигационные спутниковые системы широко применяются в навигации транспортных средств, морских судов, самолетов и аэрокосмических аппаратов, геодезии, добыче нефти, сельском хозяйстве, науках о земле и атмосфере и многих других областях (Shi, Wei, 2019). Сегодня Цифровая Земля — «сложная неоднородная информационная среда, объединяющая на основе новейших методов и технологий (таких как большие данные,

²⁰<https://ceiis.mos.ru/presscenter/nauchno-publitsisticheskie-stati/detail/11665732.html?ysclid=lp1j66un4o263262996>

²¹<http://www.digitalearth-isde.org/uploadfile/2020/1231/20201231115321467.pdf>

облачные вычисления, дистанционное зондирование, позиционирование и навигация, геоинформационные системы, виртуальная реальность), а также геопространственного взаимодействия разнообразные виды и формы информации – карты, изображения, видео- и аудиоматериалы, абстрактные представления (тексты, знаки, символы), а также 3D-модели в едином геоцентрическом пространстве» (Батурин, 2023).

Выводы

Необходимо отметить, что навигационная система не только является основой Цифровой Земли, но также одним из основных компонентов для ее работы. Предложенная А. Гором в 1998 году идея должна была сделать сам проект Цифровая Земля отдельной навигационной системой. Эта система по задумке должна включать локализованную на глобусе (карте мира) информацию, позволяя прокладывать маршрут и перемещаться между интересующими пользователя объектами (Леонов, 2023). При этом целью может быть не обязательно физическое перемещение пользователя, а получение информации, накопленной о нашей планете, включая исторические сведения. Современные качественные виртуальные глобусы и электронные карты стали возможными благодаря совокупности технологий: запуску и развитию спутниковой сети, достижению высокой скорости передачи данных и использованию видеокарт с графическими процессорами.

Список литературы

Gore A. *The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century*. Al Gore, speech at California Science Center, Los Angeles, California, on January 31, 1998.

Guo H., Goodchild M., Alessandro A. *Manual of Digital Earth*. Springer Singapore, 2020. 852 с.

Shi C., Wei N. *Satellite Navigation for Digital Earth. Manual of Digital Earth*. Springer Singapore, 2020. С. 125-160.

Батурин Ю. *Праобразы и прообразы ноосферы: «Цифровая Земля» как прототип*. Наука и техника, материалы XLIV Международной годичной научной конференции Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники Российской академии наук, выпуск XXXIX, 2023. С. 24-36.

Гура Д., Шевченко Г., Гура Т., Бурдинов Д. *Основы спутниковой навигации*. Молодой ученый. № 28 (132), 2016. С. 64-70.

Дрожжин О. *Разумные машины*. М.: Издательство детской литературы, 1936. 303 с.

Корякин В.И. *От астролябии к навигационным комплексам*. Санкт-Петербург: Судостроение, 1994. 234 с.

Леонов А. *От карты к цифровой 3D-модели реальности ... и снова к карте*. Логос, Т. 33, № 1, 2023. С. 203-220.

Масликов С.Ю. *Астролябия как астрономический инструмент: от античности до Нового времени*. Дис. ... канд. историч. наук. М.: 2017. 230 с.

Словарь русского языка: в 4-х т. / РАН, Институт лингвистических исследований. Под ред. А.П. Евгеньевой, 4-ое издание. М.: Русский язык, Полиграфресурсы, 1999.

Цзо-бэнь М. *Это изобретено в Китае*. Перевод с китайского – А. Клышко. М.: Молодая гвардия, 1959. 160 с.

Цифровая навигация и обеспечение строительной деятельности на Луне

Игорь Куликов* | Максим Харламов | Борис Крючков
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звёздный городок, Россия
I.Kulikov@gctc.ru, M.Kharlamov@gctc.ru, B.Kryuchkov@gctc.ru

Аннотация

В настоящее время в большом числе печатных и электронных изданий, включая ряд отечественных и зарубежных научно-исследовательских работ, на суд научной общественности представляются взгляды учёных и конструкторов на будущее пилотируемого освоения Луны, включая возведение напланетных долговременных баз. В этих публикациях предлагаются к рассмотрению вопросы координатного обеспечения напланетной деятельности на Луне. Широкую известность получили предложения российских и зарубежных учёных о создании и размещении на орбите Луны глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), аналогичной ГЛОНАСС/GPS, а также иных спутниковых комплексов, обеспечивающих координатную поддержку потребителей на поверхности искусственного спутника Земли.

Авторы данной статьи, основываясь на требованиях российского законодательства и приводимых ими обоснованиях точности и надёжности навигационного обеспечения на Луне, представляют и детально рассматривают предложения по оборудованию и использованию местных систем координат как альтернативы ГНСС. Лунные навигационные системы должны быть универсальным средством обеспечения космонавтов и напланетных транспортных систем, а также широко использоваться на всех этапах лунного строительства, начиная с первых пилотируемых миссий по освоению Луны.

Ключевые слова

Напланетная навигация, Способы определения координат при строительстве, Обеспечение внекорабельной деятельности на Луне, Геодезия и селенодезия, Строительство лунной базы

Digital Navigation and Support for Construction Activities on the Moon

Igor Kulikov* | Maksim Kharlamov | Boris Kryuchkov
“Yu.A. Gagarin R&T CTC” FSBO, Star City, Moscow Region, Russia
I.Kulikov@gctc.ru, M.Kharlamov@gctc.ru, B.Kryuchkov@gctc.ru

Abstract

Currently, a large number of printed and electronic publications, including a number of domestic and foreign scientific research papers, present to the scientific community the views of scientists and designers on the future of manned lunar exploration, including the construction of long-term planetary bases. In these publications, issues of coordinate support for planetary activities on the Moon are proposed for consideration. The proposals of Russian and foreign scientists on the creation and placement of a global navigation satellite system (GNSS) similar to GLONASS/GPS, as well as other satellite complexes providing coordinate support for consumers on the surface of an artificial satellite of the Earth, have become widely known.

The authors of this article, based on the requirements of Russian legislation and their justifications for the accuracy and reliability of navigation on the Moon, present and consider in detail proposals for the equipment and use of local coordinate systems as an alternative to GNSS. Lunar navigation systems should be a universal means of providing astronauts and alien transport systems, as well as widely used at all stages of lunar construction, starting with the first manned missions to explore the Moon.

Keywords

Planetary navigation, methods of determining coordinates during construction, provision of extravehicular activities on the Moon, geodesy and selenodesia, construction of a lunar base

Введение

Тема освоения Луны становится всё более актуальной и научно проработанной. В настоящее время в публикациях ряда авторов рассматриваются проблемы строительства, а также эксплуатации будущих напланетных космических станций [1, 2, 7, 9, 16, 21, 26, 59].

В большей мере, по ряду объективных причин, это относится к использованию космических баз на Луне, а в меньшей – на Марсе и иных космических телах. Одновременно, в привязке к теме создания и эксплуатации космических лунных и марсианских полигонов, рассматриваются вопросы широкого многоцелевого применения автоматических робототехнических систем (РТС) как средства поддержки пилотируемой деятельности космонавтов [3, 4].

Формализация темы строительства напланетных космических баз требует системного понимания и жёсткого следования ряду принципов, рассмотрению которых, в частности, посвящён данный материал. При организации любого вида строительно-монтажных работ (СМР), в обязательном порядке, должны быть подготовлены или выполнены условия (мероприятия, элементы), установленные нормативно-технической документацией (НТД) и ГОСТами для строительства:

1. проведены предпроектные инженерные изыскания;
2. разработан проект;
3. подготовлены (изготовлены) строительные и комплектующие материалы и компоненты;
4. оборудована строительная (монтажная) площадка;
5. развёрнуты инженерные сети;
6. подготовлены специалисты соответствующей квалификации;
7. утверждены обоснованные сводные сметные расчёты и финансирование.

Главным видом работ, обуславливающим успех СМР и эффективность реализации каждой, из показанных выше, позиций, является проведение топографо-геодезического (в нашем случае - селенодезического) обеспечения (ТГО, ТСО) и создание высокоточной универсальной пространственной подосновы будущего строительства [5].

В приложении к теме строительства лунных инфраструктурных объектов, вопросы изготовления и доставки на Луну компонентов будущих космических баз, их монтажа, эксплуатации и ремонта, а также вопросы оценки материальных и финансовых затрат, давно

являются предметом научного исследования, как в нашей стране, так и за рубежом [6, 7]. Однако вопросам навигационного обеспечения строительства на Луне, достаточного внимания пока не уделяется.

Виды работ на Луне и необходимая точность позиционирования объектов

Деятельностью по перспективным исследованиям Луны, Марса и иных космических объектов Солнечной системы заняты ряд государств нашей планеты, среди которых следует отметить Россию, страны Евросоюза, США, Китай, Индию и Японию.

Так, в американской космической программе «Артемида» планируется создание орбитальной лунной платформы Lunar Gateway и её интеграция с постоянной космической станцией на поверхности Луны (рис. 1) [8, 9, 59].

В 2023 году Россия подтвердила своё намерение создать Международную научную лунную станцию совместно с Китаем. Соглашением предусмотрен открытый формат проекта - к нему, по мере развития, смогут присоединяться другие государства.

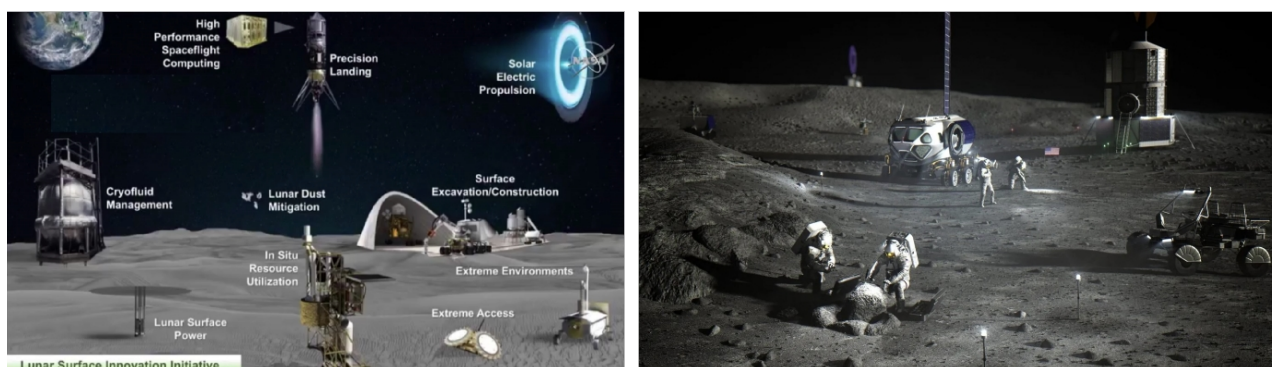


Рис. 1. Планируемая космическая инициатива США в районе южного полюса Луны

На первом этапе страны займутся проектированием станции, а межпланетные космические аппараты (КА) будут исследовать поверхность Луны, чтобы определить наиболее удобное место для размещения базы. На следующей стадии планируется создать интегрированный центр управления станцией и включить в её состав первые инфраструктурные объекты - модули энергоснабжения и связи. Кроме того, на поверхность Луны доставят и запустят исследовательские аппараты различного назначения и луноходы.

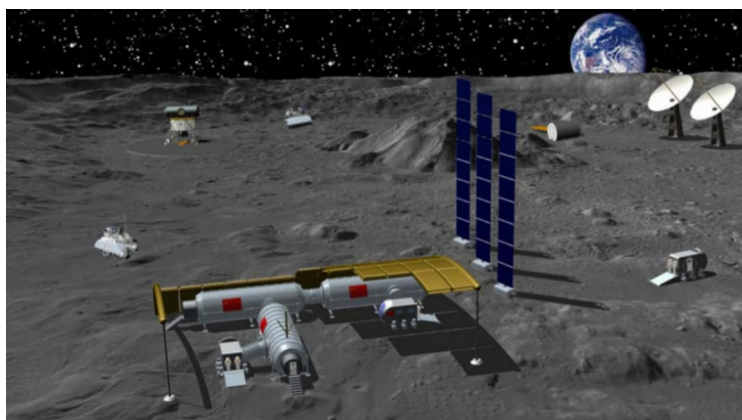


Рис. 2. Перспективная международная лунная станция Китая и России

Третий этап предполагает постепенное увеличение количества лунных модулей и расширение их функционала. На этой стадии лунная станция получит единый командный центр, систему подъёма, спуска и посадки КА (СПСП) и фитотехнический комплекс по выращиванию земных сельскохозяйственных культур. То есть начнут создаваться условия для длительной колонизации Луны (рис. 2) [10, 11].

Япония (JAXA) также планирует начать промышленное освоение Луны после 2030 года с акцентом на строительство завода по производству водородного топлива (рис. 3). При этом, произведённые здесь энергоносители, будут использоваться для перемещения космических аппаратов, как по поверхности спутника, так и на орбитах Луны [12, 13].



Рис. 3. Футуристический японский лунный проект

Анализ доступных материалов по программам освоения Луны, разработанных различными космическими агентствами, позволяет предположить, что в зависимости от этапа их реализации, по мере нарастания количества и сложности выполняемых напланетных задач, а также степени их автоматизации, возникает потребность в получении высокоточных, актуальных и надёжных цифровых данных пространственного положения

объектов, техники, рабочих органов исполнительных механизмов, элементов рельефа и местности.

Следует отметить, что требуемые точности позиционирования для разных видов работ в различных условиях функционирования лунной базы и проведения напланетной деятельности (например, лунный день или лунная ночь, визуальное или приборное ориентирование операторов и пр.), объективно, будут не одинаковы. Прорабатываемые космические задачи (программы исследований) для Луны ставятся и решаются с учётом уровня необходимой и достижимой, на момент реализации, точности навигационного обеспечения. Так, например, для миссии «Луна-28» планируется иметь небольшой луноход, навигация которого осуществляется методом «счисления пути» - по измерению пройденного расстояния с учетом изменений направления движения транспортного средства.

Такая несовершенная координатная маршрутная привязка, дающая ошибку до 5 м на 100 м пройденного пути является вынужденным устаревшим решением, (рис. 4), так как, на данный момент, у разработчиков ещё не имеется иных готовых программно-аппаратных технологий для обеспечения точного измерения положений аппарата на лунной поверхности.

Навигационные задачи для Луны, характеризующиеся потребной координатной точностью позиционирования, можно условно разделить на несколько категорий.

Точность определения координат в разных режимах счисления	
Режим счисления	Погрешность
Инерциальный	3.7 км за час полета
Инерциально-спутниковый	100 м
Инерциально-доплеровский	0.5÷0.7% от пройденного пути
Курсо-доплеровский	1.2÷1.5% от пройденного пути
Аэрометрический	3.5÷4.5% от пройденного пути

Рис. 4. Точностные характеристики различных методов счисления пути

Одна из них относится к программам, выполняемым на месте посадки (или в радиусе единиц метров от него), которые носят общий характер и не требуют проведения каких-либо инженерных работ в конкретной точке лунной поверхности (например, миссия «Луна-25», «Луна-26»). Так, на начальном этапе освоения Луны, для выполнения исследований по

указанным программам вполне достаточно иметь баллистическое обеспечение попадания космического аппарата в ожидаемый эллипс рассеивания места посадки с точностью не хуже 15 x 30 км [14].

Отдельной важной задачей обеспечения лунных исследований при этом является выполнение безопасного вывода космического аппарата в заданное место над поверхностью спутника и проведение посадки в эту расчётную (выбранную оператором) точку. Локальная задача навигации здесь должна быть решена исключительно методами точного позиционирования КА во время его полета над Луной и на этапе управляемого двигателями спуска. Точность позиционирования для решения поставленной задачи должна быть высокой и сопоставимой с линейным размером посадочного модуля, то есть должна составлять от единицы до десятка метров. Такие высокие требования к навигационной точности при проведении посадки вызваны необходимостью экономии топлива для двигателей торможения и маневрирования, а также сохранения устойчивого пространственного положения посадочного лунного модуля на подстилающей поверхности [14].

Существует ряд методов оптимизации процессов маневрирования КА для выхода в заданную точку и различные технические решения посадки в зависимости от вида подлётной к Луне траектории, а также используемого оборудования (дальномеры, высотомеры, датчики-измерители скорости и угла сноса (ДИСС), лидары и т. п.) [15, 16].

В любом случае, при решении этой задачи требуется иметь систему мгновенного позиционирования лунного посадочного комплекса в селеноцентрических координатах, при этом точность их измерения и перехода от селенографических координат к небесно-механическим должна быть, как сказано выше, лучше десяти метров.

При решении задач сооружения долговременных построек на поверхности Луны процессы СМР ограничены техническими, энергетическими и материальными ресурсами, что связано с дорогостоящей и сложной доставкой грузов с Земли. Так, например, если «прилунить» специальную бурильную установку в место, удалённое от заданной точки исследования (дальше, чем допускает технология развёртывания бурильного оборудования), то это потребовало бы планирования и использования намного более дорогой мобильной установки криогенного или глубокого наклонного бурения, либо задача нивелирования навигационной ошибки решалась бы посредством транспортировки оборудования луноходом.

В показанном случае, экономический эффект от применения высокоточной навигации

на Луне можно оценить, через разницу цены реализации различных альтернативных способов бурения, а также величиной дополнительной стоимости ограниченного ресурса хода напланетной транспортной платформы.

В таблице 1 представлены основные виды планируемых фундаментальных напланетных исследований, реализация которых потребует разработки и системного применения положений «лунных строительных стандартов», «строительных норм и правил» (СНиП) и иной нормативно-технической документации, аналогичной «земной» [17, 18, 19].

Табл.1. Направления фундаментальных научных исследований, требующих высокоточной координатной поддержки

№ пп	Виды перспективных научных исследований	СМР и ТСО
1	Изучение происхождения, внутреннего строения и эволюции Луны как планетного тела	+
2	Мониторинг внутреннего теплового потока Луны	+
3	Мониторинг динамических изменений гравитационного поля Луны во времени	+++
4	Мониторинг лунной сейсмической активности;	+
5	Изучение фундаментальных проблем Солнечной системы	+
6	Исследование активности и состава солнечного ветра и галактических космических лучей	+
7	Определение возможностей использования Луны для изучения Вселенной (внеатмосферная астрономия, исследование потоков античастиц и поиск антиматерии в ближнем космосе и т.д.)	++
8	Мониторинг космического излучения и солнечной активности	+
9	Прогнозирование радиационной обстановки на Луне	+
10	Исследование межзвездной и межпланетной пыли, а также потоков микрометеоритов	+
11	Исследование летучих компонентов (соединений) лунных веществ (минералов), а также изучение возможности их добычи	++
12	Исследование магнитной истории Луны	++
13	Синхронный мониторинг интенсивности и взаимодействия различных типов магнитных полей	+++
14	Комплексное исследование лавовых труб и пещер	++
15	Тематическая селенологическая, селенохимическая и селенофизическая съёмка	+++
16	Топографическое и геоморфологическое картирования перспективных участков местности (районов)	+++
17	Исследование лунного вещества (физико-химические свойства, строение и мощность лунного реголита)	+
18	Исследование приповерхностной экзосферы Луны и мониторинг ее параметров, исследование влияния лунной пыли на технику и живые организмы	+

Примечание: потребность высокоточного позиционирования специального оборудования и научной аппаратуры: (+) существует; (++) высокая; (+++) очень высокая или это является абсолютным фактором, обуславливающий данный вид деятельности.

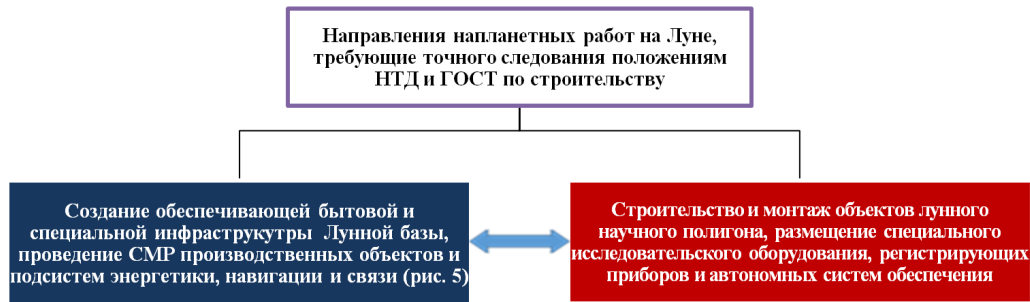


Рис. 5 а. Основные направления напланетной деятельности, понимаемой как строительство

I - Навигационное оборудование и обозначение территории базы и СПСП, формирование складов и логистических участков, прокладка дорожной сети



II - Проведение работ с лунным грунтом, направленных на создание условий проведения монтажа и сборки конструкций элементов базы



III - СМР объектов инфраструктуры, возведение и интеграция сооружений лунной базы: обитаемого, научного, энергетического модулей и т. д.



IV - Обследование, описание, картографирование и инженерное оборудование естественных пустот под поверхностью Луны: местных пещер, туннелей и пр.



Рис. 5 б. Виды напланетных работ по оборудованию космической базы

Понимаемые сейчас направления деятельности на Луне, связанные со строительством и, следовательно, с созданием необходимой селеноподосновы, можно представить как два основных взаимодействующих блока. Прежде всего – это выполнение базовой задачи оборудования лунного поселения и проведения СМР по созданию его инфраструктуры. Другой частью работ является подготовка и решение целевых задач, а также проведение на Луне фундаментальных и научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИиЭ) (рис.

5 а, б).

Представленный выше перечень, определяет этап решения крупных фундаментальных научных задач. Ему должен предшествовать период проведения более простых и менее затратных научных исследований и экспериментов. Они также, в подавляющем большинстве случаев, объективно, будут связаны с монтажом специального оборудования, проведением геологических и сейсмографических работ, размещением сети специальных датчиков, фиксации (высокоточной координатной привязки) мест проведения измерений и т. п., на базе заранее подготовленной геоподосновы.

Отдельным важным условием успешности проведения космических экспериментов будет являться их повторимость в заданных условиях, а также возможность корректной обработки больших объёмов экспериментальных данных (например, массивов точек лазерных отражений (ТЛО) лидара), связанных с топологией поверхности Луны и (или) её недр.

В перечне научных задач на данном этапе целесообразно рассматривать следующие виды НПИиЭ [7, 20, 21, 39, 59]:

- Оценка содержания воды в приповерхностном слое лунного грунта;
- Геохимическая классификация лунных пород;
- Разделение пород на «морские» и «не морские»;
- Установление содержания элементов, привнесённых солнечным ветром;
- Изучение поверхностной гидратации реголита;
- Регистрация пылевых частиц и определение параметров плазмы над поверхностью Луны;
- Изучение динамики ансамблей активных монодисперсных и полидисперсных макрочастиц в плазме и электрических полях различной конфигурации;
- Измерение напряжённости электромагнитных, электростатических и магнитных полей;
- Регистрация рентгеновского излучения от космических источников;
- Высокоточный многоцветный фотометрический обзор звёзд всего лунного неба высокой и промежуточной яркости;
- Изучение потоков быстрых и тепловых нейтронов, поиск средств

противорадиационной защиты;

- Измерение температурных режимов и скорости массопереноса при испарении льда из подвижного слоя лунного реголита;
- Исследование и отработка технологических процессов переработки лунного реголита методом твердофазного электролитического восстановления кислорода и металлов из оксидов;
- Определение материаловедческих и технологических факторов создания элементов лунной инфраструктуры из композиционных материалов на основе реголита в условиях пониженной гравитации;
- Оработка технологии создания и эксплуатации автономных бортовых источников электропитания на различной технологической базе;
- Исследования эффекта электрорегулируемой «сухой» адгезии эластичных полимеров и армированных композиционных материалов;
- Оработка технологии автоматического мониторинга химического состава закрытой воздушной среды с использованием алгоритмов искусственного интеллекта в части распознавания газов;
- Проведение дистанционных измерений температурных полей модулей лунной базы в реальных условиях эксплуатации, в том числе, с целью выявления проблемных зон утечки тепла, перегрева, качества теплоизоляции;
- Проведение регулярных дистанционных высокоточных измерений геометрических параметров крупногабаритных космических конструкций и объектов;
- Оработка технологии создания многослойной трансформируемой гермооболочки (МТГО);
- Проведение исследований и отработки технологических процессов гидротермальной карбонизации органических отходов с целью их преобразования в топливо (углерод) или газ;
- Оработка технологий, материалов и инструментария для проведения монтажных, ремонтно-профилактических и регламентных работ в интерьерах модулей лунной базы;
- Оработка технологии локального контроля состояния внутренней и внешней

поверхностей модулей лунной базы с помощью микроробототехнического инспекционного комплекса и реактивных БПЛА;

- Обнаружение и удаление загрязнений различного происхождения методом лазерной абляции;
- Отработка режимов и технологии плазменной очистки поверхностей и объёмов от мелкодисперсной пыли и др.

Как показано ранее, общий алгоритм проведения любых СМР, на Земле или в условиях иных планет, должен включать в себя следующие базовые блоки (виды работ), подлежащие обязательному исполнению (рис. 6).

Рассмотрим некоторые из указанных этапов, представленных на рисунке, для подтверждения их особого статуса в контексте понимания термина строительство (особенно в условиях проведения напланетной деятельности, характеризуемой малой изученностью объекта проектирования и проведения СМР, экстремальными условиями работ, удалением от Земли, а также особым влиянием человеческого фактора).

Основные виды инженерных изысканий (для земных условий, на основании российских нормативных актов) включают в себя [22, 23]:

- Инженерно-геодезические;
- Инженерно-геологические;
- Инженерные гидрометеорологические;
- Инженерные экологические.

Дополнительно, в зависимости от поставленных целей, выделяют несколько специальных направлений инженерных изысканий: геофизические, геотехнические, кадастровые и др.

Характеристики наиболее вероятных к проведению на Луне, инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий, в существующих в настоящее время формулировках, учитывая «пионерский» этап их выполнения на необорудованной лунной местности при отсутствии подготовленной селеноподосновы, представлены далее.

Инженерно-геодезические изыскания - комплекс исследований и сопутствующих мероприятий, направленных на сбор, обработку и анализ сведений о рельефе местности, а также объектах, расположенных на определённой территории. Такие изыскания проводятся с

целью оценки и обоснования технической возможности и финансовой целесообразности, как проектирования, так и возведения сооружений и зданий.



Рис. 6. Типовые элементы организации строительно-монтажных работ

В процессе инженерно-геодезических изысканий специалистами выполняются следующие мероприятия:

- подготовка (создание) планово-высотных съёмочных геодезических сетей;
- топографическая съёмка на участке строительства;
- формирование топографических планов (ТП);
- подготовка цифровых моделей местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР);
- трассирование линейных сооружений и закрепление трассы и её сооружений на местности;
- геодезические работы для проектирования зданий и сооружений, включая съёмки

наземных и подземных объектов;

- геодезическая привязка выработок, точек геофизической разведки и иных артефактов на поверхности и иные виды работ.

Инженерно-геологические изыскания включают:

- сбор и обработку геологических материалов;
- дешифрирование аэрокосмических материалов и фотоснимков;
- инженерно-геологическую рекогносцировку территории;
- инженерно-геологическую съёмку;
- лабораторные исследования физико-механических и химических свойств грунтов;
- инженерно-геофизические исследования;
- сейсмологические и сейсмотектонические исследования и т. д.

Проведение инженерно-геодезических, а также инженерно-геологических изысканий – обязательная и необходимая стадия выполнения любых строительных работ. Проект строительства и прогноз потенциальных рисков функционирования объектов базируются именно на полученных данных инженерных изысканий.

Цена ошибки при проведении инженерных изысканий очень высока. Неполные и недостоверные результаты исследований оказывают негативное влияние на принятие проектных и управленческих решений. При проведении инженерных изысканий важно использование современных измерительных приборов и методов, буровой техники, специального программного обеспечения и высокопроизводительных компьютерных систем обработки материалов изысканий. Особое значение это будет иметь для Луны, где технологии инженерных изысканий не отработаны, условия деятельности существенно отличаются от земных, а режимы функционирования будущих космических баз позволяют классифицировать их, в соответствии с п. 5, ст. 48.1. Градостроительного кодекса РФ как «особо опасные и технически сложные объекты» [24, 25].

Как показывает практика, неучёт данных факторов объективно приводит к последствиям, каждое из которых, а тем более их совместное наступление, является критическим и труднопреодолимым даже в земных условиях. Это, прежде всего:

1. существенные переделки и простои на этапах проектирования, строительства и монтажных работ;
2. срывы сроков сдачи космического объекта в эксплуатацию;

3. значительное удорожание (более чем на $\frac{1}{2}$) СМР;
4. возникновение техногенных аварий и катастроф.

Анализ основных нарушений технологии проведения СМР, связанных с недостатками проведения инженерных изысканий при организации строительства на Земле [26, 27, 28, 32], позволяет определить состав проблем, с которыми могут столкнуться проектировщики и строители будущих напланетных баз (Таблица 2).

Рассмотрим основные положения современной российской нормативно-законодательной базы по обеспечению геодезической точности координатного обеспечения строительно-монтажных работ, вообще, и проводимых инженерных изысканий, в частности. Соблюдение указанных в НТД параметров является необходимой предпосылкой качественного и безопасного проведения СМР и в земной, и в космической обстановке. Их напланетная реализация, по-видимому, позволит упростить ряд требований, связанных с меньшей гравитацией, однако ужесточит критерии исполнения отдельных работ, зависящих от иных внешних условий напланетной деятельности (суточные перепады температуры на Луне, вакуум, свето-теневая обстановка, адгезия лунной пыли, повышенная радиация, гипوماгнетизм и т. д.).

Табл. 2. Некоторые возможные нарушения проведения СМР на Луне

№ пп	Возможные характерные виды нарушений (отклонений от проекта) при проведении строительно-монтажных работ на Луне
1	Нарушения заданной геометрии при производстве работ с лунным грунтом
2	Смещение от проектного положения элемента или конструкции в целом
3	Неудачное решение узлов конструкции, неучёт сейсмических или температурных воздействий
4	Образование недопустимых деформаций грунта основания, вызывающих повреждение зданий, появление значительных кренов, сдвигов, трещин и пр. (при осуществлении строительства объектов базы из материалов, полученных на основе лунного реголита)
5	Недостаточная несущая способность конструкций и строительного объекта в целом, развитие деформаций и смещений
6	Необеспечение эксплуатационных качеств сооружения вследствие недопустимых прогибов, трещин, колебаний, повышенной радиационной и тепловой проводимости и пр.
7	Необеспечение долговечности конструкции вследствие внутренней коррозии материалов, низкой температурной стойкости и т. д.
8	Наличие трещин всех видов, направлений и размеров в сварных или монтажных швах
9	Ослабление болтовых или заклёпочных соединений
10	Принятие не рациональных конструктивных решений
11	Коррозия материалов покрытия
12	Повреждение действующих инженерных сетей или элементов действующей инфраструктуры
13	Невозможность правильного подключения к развёрнутым строительным инженерным сетям
14	Проблемы со стыковкой к соседним участкам - как в координатах, так и в высотных отметках, нарушение проектной геометрии размещения распределённых инфраструктурных объектов, элементов лунной базы, научной аппаратуры, СПСП, хранилищ вредных отходов и т. д.

Данные требования зафиксированы в сводах правил: «СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ», «СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве»; Приказе Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии № П/0393 от 20.10.2020 г. «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершённого строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места» и в других нормативных документах [29, 30, 31].

Данными НТД определяются и формализуются требования к применяемым масштабам картографических материалов, устанавливаются нормативы (средние квадратические погрешности - СКП) расчёта параметров положения характерной точки при любых видах строительства для различных методов определения координат, а именно:

- 1) геодезического метода (полигонометрия, прямые, обратные или комбинированные засечки и иные геодезические методы);
- 2) метода спутниковых геодезических измерений (определений);
- 3) комбинированного метода (сочетание геодезического метода и метода спутниковых геодезических измерений (определений);
- 4) фотограмметрического метода;
- 5) картометрического метода;
- 6) аналитического метода.

В подавляющем большинстве случаев, алгоритм определения координат произвольной точки базируется на проведении относительных инструментальных измерений ее положения относительно ближайшей точки подготовленного съёмочного обоснования государственной геодезической сети (ГГС) или геодезической сети специального назначения (местной геодезической сети) и СКП при этом составляет:

$$M_i = \sqrt{m_0^2 + m_i^2},$$

где: M_i - средняя квадратическая погрешность определения координат характерной i -точки относительно ближайшего пункта ГГС или геодезической сети специального назначения; m_0 - средняя квадратическая погрешность определения координат точки

съёмочного обоснования относительно ближайшего пункта; m_i - средняя квадратическая погрешность измерения координат характерной i -точки относительно точки съёмочного обоснования, с которой производилось ее определение.

Максимальные СКП для различных условий строительства и методов создания геоподосновы, в условиях проведения геодезической съёмки объектов на ограниченной территории представлены на рис. 7 и 8, а вид типового градостроительного плана (топоплана М 1:500) показан на рис. 9.

Характеристика объектов строительства	Величины среднеквадратических погрешностей построения разбивочной основы строительства			Предельная погрешность взаимного планового положения смежных пунктов разбивочной основы X, Y, мм	Предельная погрешность взаимного высотного положения смежных пунктов разбивочной основы, мм	Плотность пунктов разбивочной основы на застроенной (незастроенной) территории
	Угловые измерения, с	Линейные измерения	Определение превышения на 1 км хода или отметок смежных реперов на застроенной (незастроенной) территории, мм			
1 Предприятия и группы зданий (сооружений) на участках площадью более 1 км ² ; отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки более 100 тыс. м ²	3	1	3 (10)	50	10	16 (4)
		25000				
2 Предприятия и группы зданий (сооружений) на участках площадью менее 1 км ² ; отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки от 10 до 100 тыс. м ²	5	1	6	30	5	9
		10000				
3 Отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки менее 10 тыс. м ² ; сети инженерно-технического обеспечения в пределах застраиваемых территорий	10	1	10	20	5	4 (16); для сетей инженерно-технического обеспечения пункты располагать не реже чем через 100 м, параллельно осям трасс и в точках резкого излома трасс
		5000				
4 Сети инженерно-технического обеспечения вне застраиваемых территорий; земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка	30	1	5	50	10	Для сетей инженерно-технического обеспечения — то же, что и в пункте 3; для земляных сооружений и вертикальной планировки — согласно ППГР и картограмме земляных работ
		2000				

Рис. 7. Требования к созданию разбивочной основы строительной площадки [30]

Анализ представленных материалов позволяет говорить о том, что при высокой абсолютной точности современных геодезических измерительных приборов (m_i), основной вклад в суммарную ошибку вносят погрешности исходных геодезических данных (m_0), к которым относятся: 1) *астрономо-геодезические* - координаты и высоты пунктов опорных сетей; азимуты направлений; 2) *гравиметрические* - высокоточная гравиметрическая съёмка площадок; величины уклонений отвесных линий; 3) *топографические и фотограмметрические* - карты различных масштабов; фотокарты и фотопланы, ландшафтные панорамы; 4) *инженерно-геодезические* — крупномасштабные планы площадок; продольные профили трасс и рек; геодезическая привязка геологических выработок; результаты натурных наблюдений за микросмещениями пород и деформациями

сооружений и пр.

Основные требования к точности определения положения
пунктов в плановой опорной геодезической сети

Вид сети	СКП определения координат относительно исходных пунктов, мм, не более	СКП взаимного положения смежных пунктов в плане, мм, не более	СКП взаимного положения смежных пунктов по высоте, мм, не более
1 КГС и (или) сеть постоянно действующих базовых (референчных) станций ГНСС	20	15	20
2 СГСС; сеть постоянно действующих базовых (референчных) станций ГНСС	20	20	25
3 Полигонометрия, триангуляция, трилатерация 4-го класса; сети, создаваемые спутниковыми определениями	20	25	-
4 Полигонометрия, триангуляция, трилатерация 1-го разряда, сети сгущения, создаваемые спутниковыми определениями	50	30	-
5 Полигонометрия, триангуляция, трилатерация 2-го разряда, сети сгущения, создаваемые спутниковыми определениями	50	40	-
Примечания 1 При применении спутниковых технологий, СКП определения координат пунктов ОГС относительно исходных пунктов применяют, когда исходными являются пункты высокоточной геодезической сети или спутниковой геодезической сети 1-го класса, если иное не предусмотрено заданием или программой. 2 В случае использования в качестве исходных пунктов, точность планового положения которых ниже точности измерений, выполняемых современными геодезическими приборами, при уравнивании рекомендуется применять обоснованные в программе методы, позволяющие предотвратить снижение точности взаимного положения пунктов создаваемой ОГС (или ГССН) вследствие влияния недостаточной точности исходной геодезической сети.			

Рис. 8. Точностные требования к пунктам опорной сети [30]

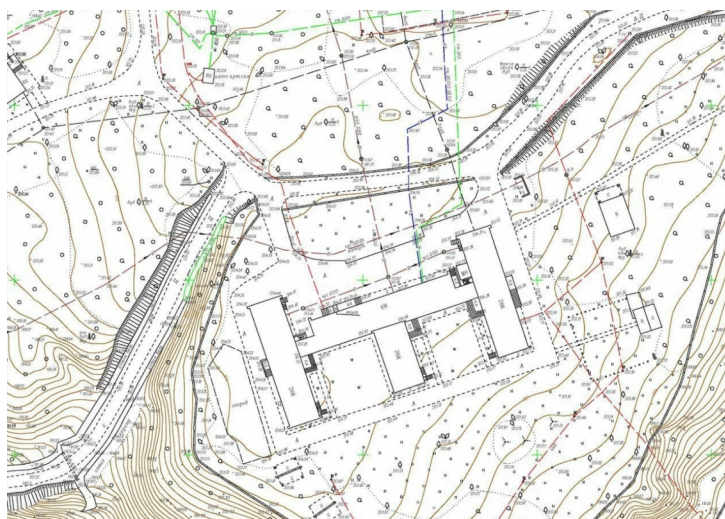


Рис. 9. Фрагмент топографического плана М 1:500

№ п/п	Категория земель и разрешенное использование земельных участков	Средняя квадратическая погрешность определения координат (местоположения) характерных точек, м	Размер проекции пикселя на местности для аэрофотоснимков и космических снимков, см
1	Земельные участки, отнесенные к землям населенных пунктов	0,10	5
4	Земельные участки, отнесенные к землям промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, землям для обеспечения космической деятельности, землям обороны, безопасности и землям иного специального назначения	0,50	9

Рис. 10. Требования по точности позиционирования границ территорий [31]

Таким образом, главным нормативным ориентиром по пространственной точности проведения строительных работ на Луне, для нас являются величины *первых дециметров*. Следует понимать, что эти требования относятся к координатной поддержке любых видов напланетных работ на Луне: обозначению и разбивке территории лунной базы; планированию её элементов, включая маршруты перемещения автоматизированных напланетных роботизированных и транспортных систем; размещению и монтажу жилых и специальных модулей; развёртыванию и интеграции оборудования научного полигона, прокладке инженерных сетей и т. д.

Другой важный тезис, который следует зафиксировать – это видение важности и необходимости развёртывания, а также оборудования на Луне собственной геодезической (селенодезической) сети, аналогичной любой из применяемых в настоящее время в земной геодезии и разработка корректных алгоритмов или ключей перехода между используемыми системами координат [32, 33, 34, 35].

Применимость методов и технологий «традиционной» навигации для Луны

Проанализируем, какие возможности в контексте обеспечения напланетной деятельности на Луне, предлагают нам конструкторы современных космических систем и

авторы большого числа лунных и марсианских проектов. Таковых достаточно много и предстоит выполнить некоторую классификацию предлагаемых способов навигации на Луне с целью проведения их всесторонней оценки в интересах более полного раскрытия темы, рассматриваемой в данной статье:

Использование радиотехнических угломерно-дальномерных систем;

Применение астрономических методов и средств навигации;

Реализация методов создания глобальных систем лунной навигации на основе использования специальных орбитальных КА, среди которых:

- создание селеноцентрической системы на основе квантово-оптических средств наблюдений и данных космических миссий;
- создание глобальной системы связи и навигации на Луне - аналога GPS;
- построение оптической лунной навигационной системы (НС) на базе космических аппаратов АО «НПО Лавочкина» и др.

Радиотехнические угломерные, угломерно-дальномерные и разностно-дальномерные навигационные системы (РНС) получили широкое распространение в сфере авиационного и морского транспорта гражданского и военного назначения во второй половине XX века. К ним относятся автоматические радиопеленгаторы, радиокомпасы, радиотехнические системы ближней и дальней навигации. В эксплуатации насчитывалось более ста типов указанных РНС. Следует назвать наиболее известные системы мирового уровня, среди которых LORAN-C, OMEGA, VORTAC, TACAN, РСБН-6, РСДН-3, РСДН-10 и др. Существуют различные классификации их характеристик и вариантов применения, однако основным следует считать обеспечение точного и безопасного маршрутного перемещения морских и воздушных судов, включая формирование специального предпосадочного маневра летательных аппаратов [36, 37].

Максимально достижимая точность маршрутного позиционирования на базе РНС достаточна только для грубого определения местоположения абонента и составляет *от сотни до тысячи* метров. Она зависит от поколения используемой аппаратуры, её конкретного типа, а также условий применения. С целью повышения навигационной точности в современных цифровых НС используют комплексирование радиотехнических, инерциальных и спутниковых данных [37, 38].

Ранее, для обеспечения лунной навигации, считалось возможным и целесообразным «...использовать наземные РТС в радиоинтерферометрическом режиме определения

селенографических координат объектов на поверхности Луны», а также «применять радиосистемы, работающие в УКВ диапазоне, для измерения параметров дальности и азимута объекта» [39].

Как известно, в космонавтике широко распространено применение астрономических методов и средств навигации. С момента начала освоения космического пространства дорогу в жизнь получило несколько поколений астронавигаторов.

Астрономическая навигация - это практика определения местоположения с использованием звёзд и других небесных тел, которая позволяет оператору точно определять своё текущее фактическое положение в космосе или на поверхности Земли.

Астрономическая навигация достигает своей цели за счёт использования угловых измерений между небесными телами и видимым горизонтом для определения своего положения на Земле (на суше, в воздухе или на море). Этот метод может использоваться и на других планетных телах для определения положения на их поверхности, используя их местный горизонт и подходящие небесные светила.

Уже со второй половины прошлого столетия стали появляться передовые электронные, а затем и компьютерные системы, позволяющие навигаторам осуществлять автоматическую пеленгацию небесных явлений (светил). Эти системы использовались как на кораблях, так и на самолётах и были относительно высокоточными. Они могли фиксировать положение до одиннадцати характерных (опорных) звёзд и определять местоположение воздушного судна с погрешностью *около 100 м*. Высокоскоростной стратосферный разведчик ВВС США SR-71 был одним из первых примеров самолёта, который использовал интеграцию автоматизированной небесной и инерциальной навигации. Межконтинентальные баллистические ракеты используют астронавигацию для корректировки своего гиросtabilизированного курса во время полета за пределами атмосферы Земли.

Навигация и хронометраж на основе пеленгации рентгеновских излучений - экспериментальный метод навигации в космосе, при котором периодические рентгеновские сигналы, испускаемые пульсарами, используются для определения местоположения космического корабля в глубоком космосе. Транспортное средство, применяющее эту технологию, будет сравнивать полученные рентгеновские сигналы с базой данных известных частот и местоположений пульсаров. Преимущество использования приёмников рентгеновских сигналов перед радиоволновыми заключается в том, что габариты рентгеновских телескопов меньше и они легче. Однако средняя точность позиционирования

объектов при их использовании составляет *несколько километров*.

Современные приборы - астронавигаторы используются на борту РС МКС (визир пилота ВП-2 и панкратический переносной астровизир «ПУМА»). На уровне научных исследований их перспективное применение планируется во всех этапах проведения космических полётов, в том числе и в ходе реализации пилотируемой лунной программы (рис. 11). В то же время следует учитывать, что предельная точность позиционирования с использованием самых совершенных астронавигаторов составляет *около 50 м* и они объективно не могут быть востребованы при проведении строительных работ на Луне.

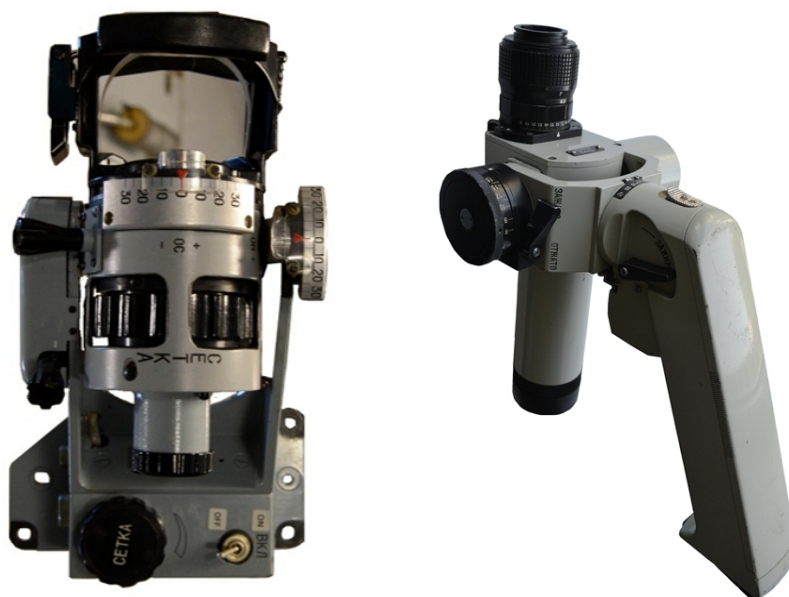


Рис. 11. Внешний вид приборов-астронавигаторов ВП-2 и «ПУМА»

Поскольку, применение представленных выше традиционных радиотехнических и астрономических способов навигации не обеспечивает потребности координатной поддержки напланетного строительства, современные исследователи всё чаще рассматривают возможности развёртывания на лунных орбитах глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Учёными и конструкторами предлагается большое количество вариантов применения орбитальных спутниковых систем в интересах обеспечения навигации на Луне. Проекты отличаются методами определения положения объектов на поверхности спутника, количеством и характеристиками КА, степенью поддержки функционирования группировки со стороны наземных и иных систем обеспечения, а также стоимостью и потенциальными сроками внедрения ГНСС, что будет рассмотрено в последующих материалах по данной

тематике.

Любое строительство на Луне – процесс очень сложный и многоэтапный. Как и аналогичная деятельность в земных условиях, она потребует создания и развития высокоточной геоподосновы, обеспечивающей на различных стадиях возведения напланетных объектов их правильного положения в пространстве и выполнения функционального назначения.

Проведение строительно-монтажных работ космонавтами в ходе внекорабельной деятельности (ВКД), а тем более осуществление указанной миссии с использованием автоматических РТС, должно быть обеспечено их координатной поддержкой с точностью, соответствующей первым дециметрам. Современным методам, позволяющим решить такую задачу в условиях Луны, будет посвящена следующая публикация по указанной тематике.

Как показано выше, установленные требования к строительным системам координат и точности координатной поддержки строительно-монтажных работ (СМР) на Луне могут быть достигнуты путём реализации специальных видов геодезического (селенодезического) обеспечения.

Применение представленных ранее традиционных радиотехнических и астрономических способов навигации не обеспечивает потребности координатной поддержки напланетного строительства. В связи с этим, современные исследователи всё чаще рассматривают возможности развёртывания на лунных орбитах *глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)*. Предлагаемые проекты отличаются методами определения положения объектов на поверхности Луны, количеством и характеристиками КА, степенью поддержки функционирования группировки со стороны наземных и иных систем обеспечения, а также стоимостью и потенциальными сроками внедрения ГНСС и т.д.

а) Создание селеноцентрической системы на основе квантово-оптических средств наблюдений и данных космических миссий.

Разработка является детищем Казанского федерального университета. Под словосочетанием «селеноцентрическая навигационная опорная сеть» в проекте понимается «следующее: создание матрицы опорных объектов на лунной поверхности, к которым можно осуществить привязку с борта космического аппарата, и, как следствие, определить заданную поверхность отсчёта по множеству наблюдаемых данных» [40, 41].

В качестве совокупности таких опорных объектов предлагаются светодиодные лазерные маяки (СЛМ), устанавливаемые на поверхности Луны и представляющие собой

приборы для генерирования светового потока с заданной плотностью, длиной волны и требуемой мощностью. Конструктивно в систему закладывается возможность наблюдения СЛМ с Земли. В случае высокоточного измерения угла (направления на распределённые по поверхности Луны СЛМ) спутниковым угломерным устройством, возможно достижение точности миллиметрового и субмиллиметрового позиционирования маяков. Пространственно-временные характеристики СЛМ могут изменяться по команде системы управления. В настоящее время на Луне можно разместить лазерные маяки только с помощью мягкой посадки научного оборудования. Вместе с тем разрабатываются пенетаторы (зонды), которые можно сбросить с окололунного КА на любую точку поверхности Луны с целью их последующей селенодезической привязки и использования.

Результатом работ станет создание сводного опорного селеноцентрического реестра лунных объектов в небесной системе координат и построение координатной динамической сети на Луне, позволяющей решать задачи пассивной оптической пеленгации наблюдаемого множества уникальных постоянно действующих маяков, привязанных к конкретным артефактам на лунной поверхности.

Данная технология может быть наиболее полезна для корректировки положения КА, находящихся на орбите Луны и наблюдающих одновременно большой сегмент сети СЛМ. Однако при проведении строительных работ на поверхности спутника она напрямую не используется, а абсолютная точность позиционирования объектов в пассивной оптической сети составляет *первые десятки метров*. В качестве недостатков проекта следует указать на: необходимость предварительного высокоточного картографирования заданных районов размещения СЛМ; использование большого числа космических миссий для развёртывания и поддержания в эксплуатационном состоянии указанной сети; решение проблемы «обратной стороны Луны»; применение мощного ресурса наземных вычислительных устройств и т. д.

б) Построение оптической лунной навигационной системы на базе группы космических аппаратов (проект института астрономии РАН и АО «НПО Лавочкина»).

Указанное предложение имеет аналогии с представленным выше. Оно состоит в реализации идеи пеленгации на поверхности Луны нескольких специальных лазерных маяков, размещаемых на борту напланетной космической станции (класса Луна-25), с борта специальных орбитальных КА – искусственных спутников Луны (ИСЛ), непрерывно связанных с Землёй (рис. 12).

Для решения проблемы создания данной лунной навигационной системы необходимо

последовательно решить следующие задачи [42, 43, 44]:

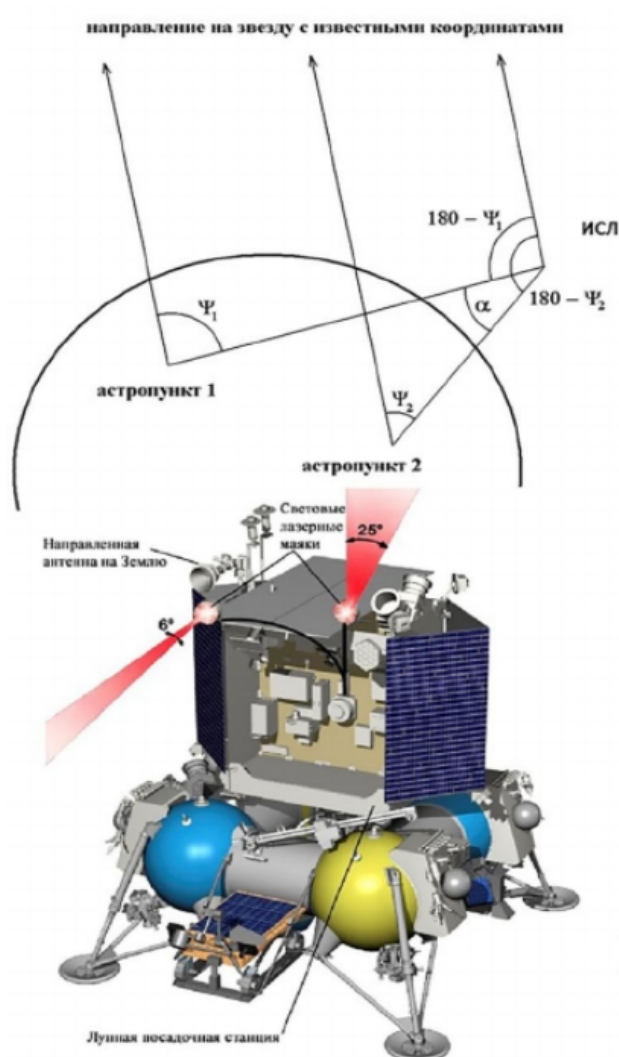


Рис. 12. Схема измерений световых (лазерных) маяков с борта ИСЛ [43]

- развёртывание высокоточной опорной (селенодезической) системы координат, путём установки на поверхности Луны опорных световых лазерных маяков и систем наблюдения на платформе космических аппаратов;
- использование полярного орбитального лунного КА№1 с оптико-электронной системой наблюдения, позволяющей фиксировать, как объекты навигации, так и опорные лазерные маяки;
- развитие такой системы на заключительном этапе её реализации методом размещения двух космических аппаратов (КА№2 и КА№3) с оптическими приборами в точках Лагранжа L1 и L2, что позволит обеспечить глобальную координатно-временную

привязку объектов на видимой и обратной стороне Луны, а также передачу навигационной информации потребителям (рис. 13 а, б). Расчётная точность позиционирования с использованием указанной ГНСС, по заявлениям разработчиков, может составить от 10 до 30 метров.

- Создание глобальной системы связи и навигации на Луне.

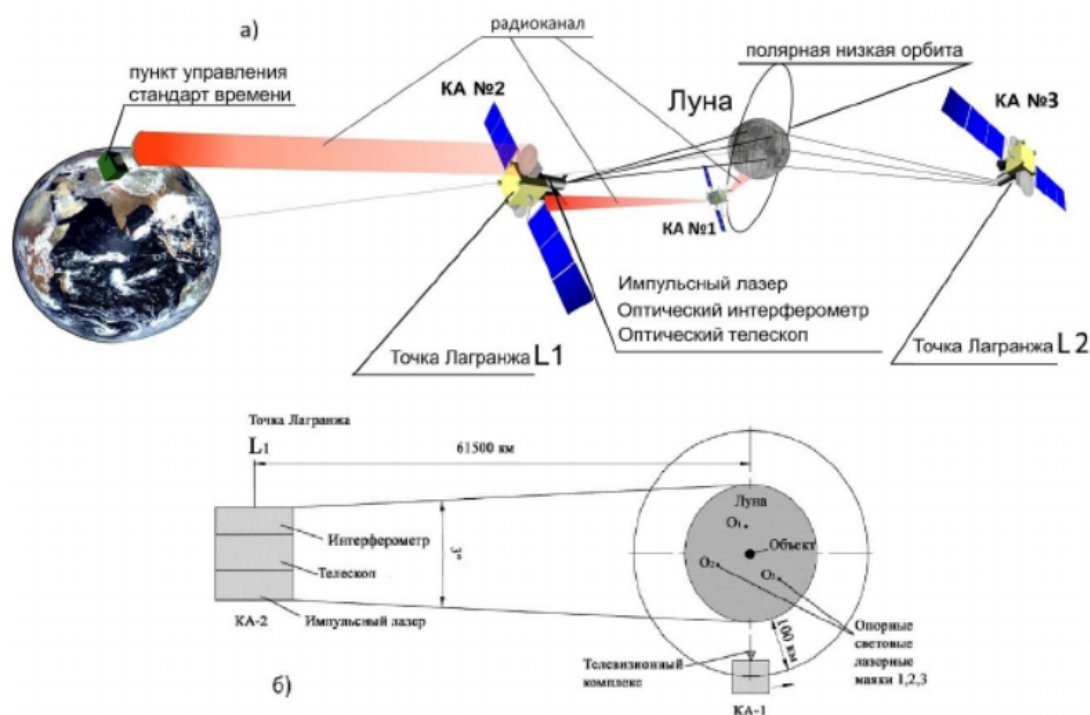


Рис. 13. Схема построения глобальной оптической лунной навигационной системы:
а) – модель размещения космических аппаратов; б) – схема наблюдения.

Наиболее проработанной и обсуждаемой является тема развёртывания на орбитах Луны ГНСС, аналогичной глобальным спутниковым системам класса GPS/ГЛОНАСС/Galileo/Beidou [45, 46, 47].

По мнению авторов различных национальных вариантов реализации данной модели, проведение различных работ на поверхности Луны должно опираться исключительно на высокоточную систему спутникового позиционирования находящихся на Луне объектов, особенно луноходов, РТС и пилотируемых аппаратов (рис. 14).

Системы глобальной навигации на Земле успешно функционируют уже много лет, позволяя пользователям в любой момент времени автономно определять своё положение с точностью около 5 метров (рис. 4).

Вполне естественным было бы повторить отработанную систему глобального

позиционирования и на Луне. Однако, это труднореализуемо в ближайшей исторической перспективе по нескольким причинам.

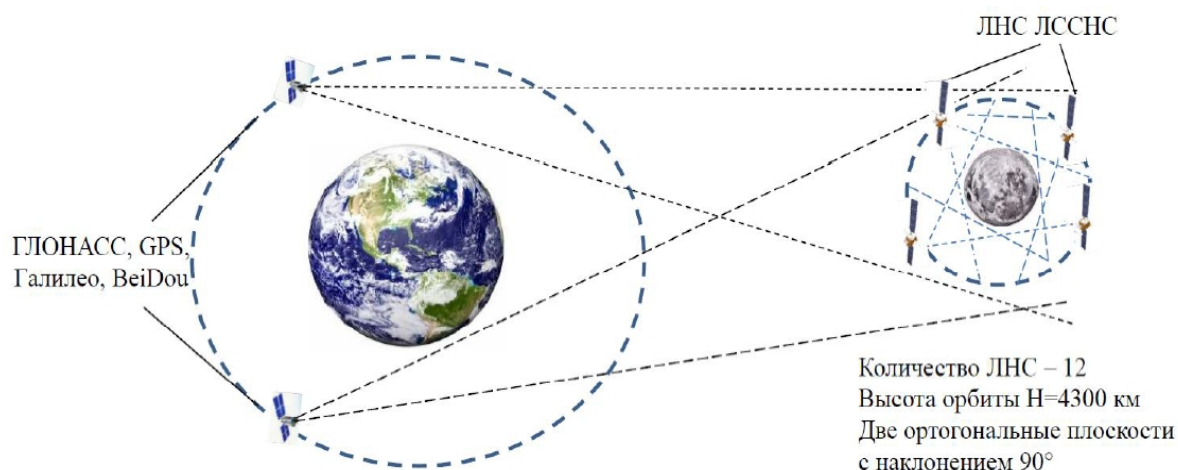


Рис. 14. Российские предложения по реализации специальной системы лунной навигации и связи (ЛССНС) на базе 12 орбитальных навигационных спутников (ЛНС)

Во-первых, существующие системы глобального позиционирования опираются на работу многочисленной группировки спутников. Технология реализации земных ГНСС требует, что бы в любой момент времени каждый пользователь системы, мог уверенно получать сигналы, как минимум, от четырёх навигационных КА. По принимаемому со спутника сигналу наземный приёмник абонента вычисляет дальность до каждого спутника и, по известному пространственному положению спутников, определяет своё пространственное положение.

В том случае, когда система глобального позиционирования рассчитана на массового потребителя, её существование экономически оправдано малой стоимостью измерения навигационных параметров одним приёмником. Она получается существенно ниже стоимости (при соизмеримой точности) определения тех же координат другими способами.

На Луне потенциальное число позиционируемых напланетных объектов в ближайшие годы не превысит нескольких единиц или десятков. В этом случае стоимость проведения координатных измерений одного объекта возрастает до недопустимой величины.

Во-вторых, наземные и лунные системы глобального позиционирования не могут существовать без наземной координатной поддержки. Орбита каждого навигационного спутника должна быть точно известна, а всякие изменения её параметров – отслежены и измерены. На Земле существует несколько сотен станций наземной поддержки систем

глобального позиционирования, тогда как создание их на Луне, и в обозримом будущем, не предвидится.

В-третьих, космическая техника рассчитана на сравнительно недолгий срок безотказной работы оборудования – около 10 лет. А это значит, что группировка спутников системы глобального позиционирования должна постоянно обновляться, обслуживаться и резервироваться. Получается парадоксальное положение, когда для координатного обеспечения нескольких аппаратов на поверхности Луны требуется многочисленная группировка ИСЛ навигационного назначения. В работе [48] детально анализируется необходимое оптимальное количество КА для создания лунной ГНСС и показано, что для этого необходимо до 18 лунных навигационных спутников.

Особое внимание следует обратить на параметры необходимой точности лунных НС. Указанные разработчиками навигационных систем, их точностные характеристики находятся в диапазоне *от 5 до 10 метров* (рис. 15).



Рис. 15. Возможности спутниковых навигационных систем в условиях Земли

Получение характеристик, обеспечивающих требования строительных нормативов, указанных ранее, и составляющих величины первых дециметров, возможно только при выполнении ряда дополнительных условий (расчёта точных эфемерид, применения режимов PPP (Precise Point Positioning), использования методов определения относительных координат и пр.). Эти условия (работы) трудно автоматизируемы, должны исполняться профессиональными геодезистами высочайшей квалификации и достижимы при проведении

специальной подготовки объектов строительства, использовании соответствующей аппаратуры или пролонгированного проведения заданных циклов геодезических измерений.

Таким образом, полноценная реализация земной модели высокоточного навигационного обеспечения пилотирования летательных аппаратов и напланетных транспортных средств, а также координатной поддержки любых видов строительства (рис. 16), даже в случае успешного создания лунной группировки ГНСС, на Луне – практически не достижима.



Рис. 16. Информационная модель реализации спутниковых навигационных систем

Как сказано ранее, одной из сложнейших проблем, подлежащих разрешению при организации любой напланетной деятельности, является предварительное создание и оборудование системы координат (СК) для производственных и строительных территорий, а также разработка её математической основы.

Что такое система координат в приложении к рассматриваемой области деятельности человека на Луне или иных планетах? Это, прежде всего, модель, позволяющая связать между собой на плоскости или в пространстве элементы разворачиваемой космической инфраструктуры в привязке к конкретному участку местности и характерным объектам на ней (установлению соответствий различного рода). Цели указанной деятельности –

формализованное (единое, координатное, универсальное) знание местоположения каждого из пользователей сети и управление их движением в интересах решения тех или иных задач строительства космических баз, освоения поверхности планеты или ее недр, решение задач безопасности и пр. [49, 50].

Другой важной составляющей навигационной компоненты является программно-аппаратный комплекс, решающий задачи координатного обеспечения на приборном (техническом) уровне и обеспечивающий соответствующий интерфейс для космонавтов.

Не в пользу реализации концепции *глобальной навигации* для Луны говорит необходимость изготовления значительного числа специальных космических аппаратов (группировки), их запуск на орбиту естественного спутника Земли, развёртывание и синхронизация местоположения КА, а также проведение специальных навигационных расчётов и предоставление навигационной информации потребителям на Луне с использованием удалённой сети обеспечивающих наземных вычислительных пунктов. Однако, при этом, даже теоретически невозможно обеспечить абсолютную погрешность получения пространственных координат меньше десяти метров.

Как показано выше, анализ характеристик ряда предлагаемых аналогичных глобальных спутниковых систем навигации и связи, включая оптические, лазерные и иные решения, чьи алгоритмы, как правило, синхронизированы с наземной поддерживающей компонентой, иллюстрирует неудовлетворительные для решения напланетных задач освоения и строительства для Луны пространственные параметры точности и надёжности представляемой навигационной информации.

Отдельной проблемой указанных ГНСС является временной диапазон их возможного развёртывания на орбитах Луны, общая высокая стоимость любой глобальной навигационной системы, а также её недостаточная надёжность в целом, что определяется большим числом функциональных компонентов и потребностью регулярной дистанционной поддержки с Земли. Таким образом, речь о *глобальном позиционировании* на Луне в контексте его практического использования, может вестись только в рамках реализации будущих перспективных программ промышленного освоения этой планеты.

Местные системы координат и правила их установления для Луны

Альтернативой глобальной навигации, ставшей доминантой современного века для всего земного шара, является теория и практика применения локальных или местных систем координат (МСК), обеспечивающих решение задач координатной поддержки пользователей на ограниченной территории в интересах решения большого круга различных навигационных задач.

Под МСК понимается условная система координат, устанавливаемая в отношении ограниченной территории, начало отсчёта координат и ориентировка осей координат которой смещены по отношению к началу отсчёта координат и ориентировке осей координат единой государственной системы координат, используемой при осуществлении геодезических и картографических работ.

Местные системы координат устанавливаются для проведения геодезических и топографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ [51]. Общее количество местных систем координат, используемых на территории Российской Федерации, оценивается в 30 тысяч [52].

МСК населённых пунктов и локальных территорий в целом являются препятствием для построения единого высокоточного гомогенного (однородного по точности) координатного пространства территорий больших стран, материков и планеты в целом. Однако данное ограничение не является существенным в ситуации освоения локальных территорий Луны, особенно на начальных этапах реализации лунной программы. В то же время МСК являются полноценным инструментом для построения единого координатного пространства локальных и не связанных территорий при условии, что они созданы и оборудованы на основе требований построения соответствующих государственных систем координат (ГСК), а также существуют современные автоматизированные средства координатного перехода между соседними местными системами координат или между МСК и ГСК.

Таким образом, на начальном этапе освоения Луны местная система координат может быть эффективно использована при решении нескольких основных задач – навигационного оборудования посадочной площадки для обеспечения лунных посадочных модулей в выбранном месте лунной поверхности, а также обеспечения высокоточной координатной поддержки топографических, строительных и инженерно-изыскательских работ при возведении жилой и производственной инфраструктуры первой лунной колонии. При этом, предлагаемый далее способ технической реализации лунной вычислительной сети,

базирующейся на МСК, обеспечит требуемую сантиметровую внутреннюю сходимость пространственных данных для всех оборудуемых территорий и может быть технически воплощён на поверхности Луны уже в ходе первых пилотируемых миссий. Данный метод основан на применении лидаров сканирующего типа, аналогичных оптико-электронным системам наземного лазерного сканирования (НЛС).

Основными ограничениями по размерам обеспечиваемой в навигационном отношении территории, являются:

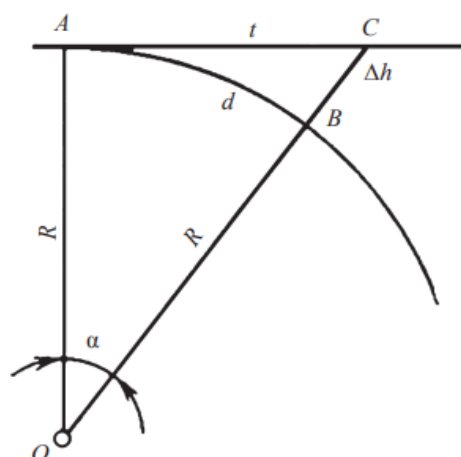
- а) характеристики бортовых ЭВМ и используемые вычислительные проекции;
- б) физические пространственные возможности оптико-электронных систем (лидаров) по координатной поддержке объектов (абонентов вычислительной сети) – направления, максимальные дальности, точность пеленгации и пр. в условиях конкретной напланетной обстановки и рельефа Луны;
- в) пространственно-технический потенциал развития вычислительной сети и расширения ареала абонентского обслуживания.

Возможность использования плоских прямоугольных проекций для проведения навигационных расчётов, может оцениваться, в том числе, через относительную ошибку влияния кривизны поверхности планеты на горизонтальные расстояния, которая определяется по следующим формулам:

$$\Delta d = 1/3 (d^3/R^2),$$
$$\Delta d/d = 1/3 (d/R)^2, \text{ где } \Delta d = t-d, \text{ а } \Delta h = OC - OB,$$

Рассчитаем эти значения для разных d и при среднем радиусе Земли $R_z = 6371,11$ км. В таблице на рис. 17 приведены значения Δd , $\Delta d/d$, Δh , $\Delta h/d$ для расстояний от 1 км до 100 км [53].

Как видно из таблицы на рис. 17, при относительной ошибке 1/1 250 000 дугу сферической поверхности Земли $d = 10$ км можно заменить отрезком касательной в средней точке этой дуги, так как при этом относительная ошибка получается меньше 1/500 000 для самых высокоточных измерений длин линий светодальномерами (лидарами). Следовательно, для Земли, участок сферической (уровенной) поверхности с длиной дуги $d = 10$ км можно с неощутимой погрешностью принять за плоский, а кривизной поверхности планеты в пределах указанного участка можно пренебречь.



Влияние кривизны Земли на вертикальные и горизонтальные расстояния для разных длин дуг

Горизонтальные расстояния			Вертикальные расстояния		
d , км	Δd , см	$\Delta d/d$	d	Δh	$\Delta h/d$
1	0,0008	1/10000000	1 км	7,848 см	1/12500
5	0,102	1/5000000	5 км	196 см	1/2551
10	0,82	1/1250000	10 км	7,848 м	1/1274
20	6,5	1/304000	20 км	31,39 м	1/637
30	22,17	1/135318	50 км	196,2 м	1/255
40	52,56	1/76104	50 м	0,02 см	1/250000
50	102	1/49000	70 м	0,385 мм	1/182029
100	820	1/12195	150 м	1,776 мм	1/84947

Рис. 17. К вопросу определения поправок на кривизну поверхности планеты

Величина Δh выражает влияние кривизны Земли на определение высоты точек и называется высотной поправкой за кривизну Земли. Картина влияния кривизны Земли на вертикальные расстояния (в нашем случае это высоты точек) совершенно другая и она рассчитывается, как $\Delta h = d^2 / 2R$. Из таблицы на рис. 6 видно, что при длине дуги в 10 км величина Δh оказывается около 8 м и составляет 1/1274 длины линии. При проведении инженерных изысканий для строительства такой величиной пренебрегать, естественно, нельзя.

Для инженерных целей, например, при дорожных изысканиях, для участка работ протяжённостью 1 км допускается ошибка не более 2 см [53]. Поэтому даже при коротких расстояниях влияние кривизны поверхности Земли на вертикальные расстояния необходимо учитывать.

Если провести указанную выше оценку для условий напланетных работ на Луне, то с учётом её среднего радиуса $R_L = 1737,10$ км, максимально допустимая ошибка по дальности (Δd) 1 - 5 дм [53], достигается на расстоянии 9,6 – 16,5 км, а по высоте (Δh), на расстоянии 0,59 – 1,32 км, соответственно.

Среднеквадратическое отклонение (суммарная пространственная ошибка) расчёта местоположения без учёта кривизны поверхности Луны, определяемое по формуле:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\Delta d^2 + \Delta h^2},$$

что для дальностей (d) 1 км и 5 км, соответственно, составляет: $\sigma_{\Sigma 1} = 28,8$ см и $\sigma_{\Sigma 5} =$

716,9 см и является, в конечном счёте, производной величиной ошибки по высоте - Δh (ее вклад, во всех случаях, достигает более 99% от суммарного значения данного показателя).

Исследование параметров физического распространения лазерного излучения в условиях земной атмосферы и оценка пространственных возможностей лидаров по пеленгации объектов на максимальной дальности с учётом угла падения лазерного луча, отражающих свойств поверхности, наличия (использования) уголкового отражателей и т. д., позволяет оценить эффективность и точность измерений НЛС в условиях конкретной напланетной обстановки и рельефа Луны.

Основными ограничениями передачи излучения в атмосфере Земли, является поглощение энергии посредством её рассеяния на молекулах газов и водяного пара, входящих в состав воздуха. Другими возмущающими воздействиями являются деформации лазерного пятна в связи возможной локальной турбулентностью атмосферы, а также расширение (расплывание) первоначальной формы пучка и его отклонение от исходного направления распространения из-за изменения показателей преломления среды (оптических свойств атмосферы) [54, 55].

Исследования, проведённые для современных промышленных НЛС, фиксируют следующие средние показатели точности лазерной пеленгации объектов на максимальных дальностях применения данных конкретных импульсных лазерных систем: до 4 мм (Riegl LMS-Z390i, на $d = 400$ м) [56]; до 6 мм [57]; 1-3 мм (Leica Scanstation C10, на $d = 110$ м) [58].

Таким образом, учитывая среднюю величину расходимости лазерного луча современных НЛС в 0,2...0,25 мрад и представленные выше данные по достижимой точности промышленных лазерных сканеров, можно сделать вывод о том, что в условиях проведения измерений на Луне, предельные погрешности измерений, задаваемые строительными нормативами в 5 дм (часть 1), могут надёжно достигаться на дальностях, превышающих 3,5 - 4 км от источника измерений; для $d = 2 - 2,5$ км, теоретически достигаемая погрешность составляет не более 20 см; величины погрешности до 1 дм сопровождают измерения, проводимые НЛС на дальностях менее полутора километров.

Представленные выше данные позволяют предложить рациональную конфигурацию закреплённых элементов МСК и оценить пространственные точностные характеристики вычислительной сети, построенной на выбранной координатной плоскости. Существует ряд проработанных предложений по созданию простой, точной и малозатратной МСК лунной базы и её исследовательского полигона – вспомогательной декартовой прямоугольной

системы координат, состоящей из нескольких исходных пунктов, оборудованных НЛС (рис. 18) [13, 14].

Идея данной МСК состоит в размещении на ограниченной территории лунной поверхности нескольких излучателей лазерного сканирования, адаптированных для работы в космосе. Их расположение в узлах планово-высотной координатной сети, увязанной и уравненной с учётом требуемого перекрытия зон наблюдения и областей геометрической тени для каждой базовой станции (БС), позволит с гарантированной точностью и надёжностью позиционировать объекты внутри границ полигона (рис. 19).

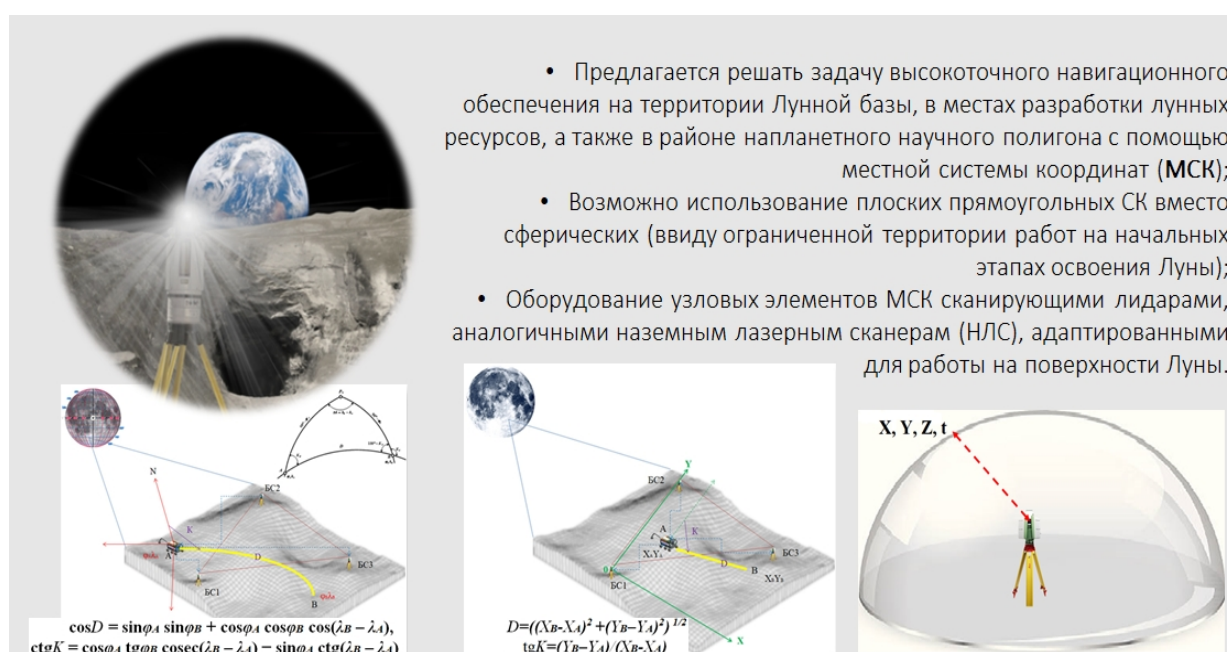


Рис. 18. Предложения по созданию и использованию МСК на Луне

Учитывая отсутствие на Луне атмосферы, при рассчитываемой индивидуально (относительной и абсолютной) высоте размещения каждого лазерного излучателя (общим числом до 4 базовых станций), можно обеспечить возможность высокоточного планово-высотного позиционирования для осваиваемой территории. Её общая расчётная площадь составляет около 100 км² при обеспечении дециметровой точности на внешних границах полигона, или около 250 км² при обеспечении показателей точности на внешних границах не хуже 1 м, что соответствует требованиям начального этапа освоения Луны (рис. 20).

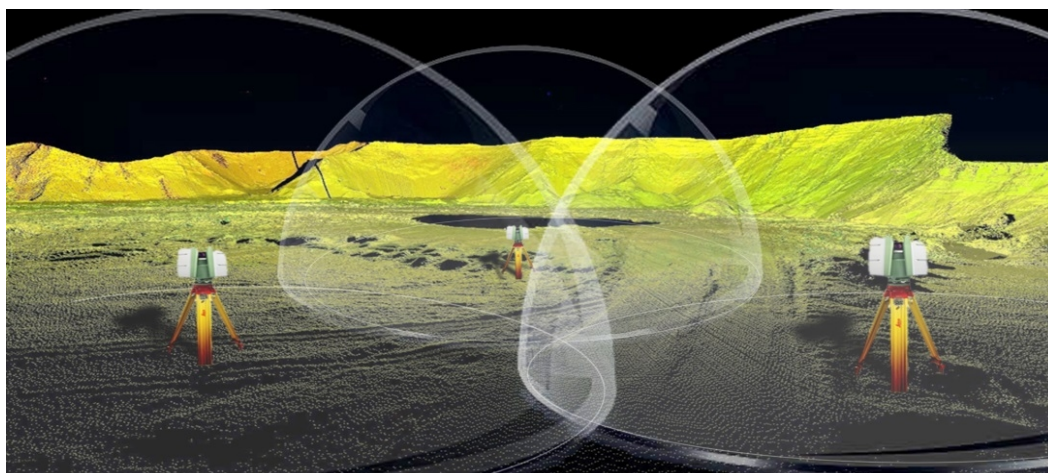


Рис. 19. Размещение лазерных излучателей НЛС на поверхности Луны

Дополнительным положительным фактором применения такой навигационной системы является возможность её пространственного развития и повышение, при необходимости, показателей точности и надёжности представления координатных данных потребителям путём сгущения сети.

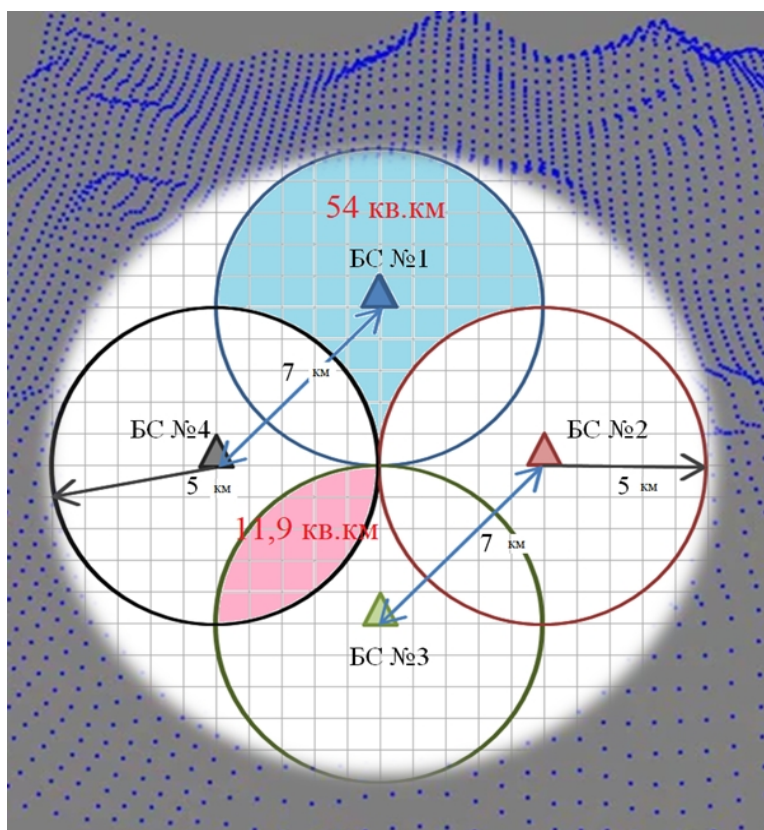


Рис. 20. Относительное позиционирование излучателей НЛС

Оснащение полигона – установка, монтаж и сборка излучателей НЛС, а также их включение в работу – может происходить двумя способами: 1) космонавтами в ходе ВКД

(рис. 21); 2) фиксацией на поверхности после прилунения специализированных посадочных модулей, оборудованных лидарами и осуществляющих миссию непрерывной оптической (лазерной) пеленгации объектов, с последующим обеспечением бортовой обработки цифровой навигационной информации, её хранением и предоставлением потребителям в заданном районе проведения напланетных работ на Луне (космонавтам или РТС).

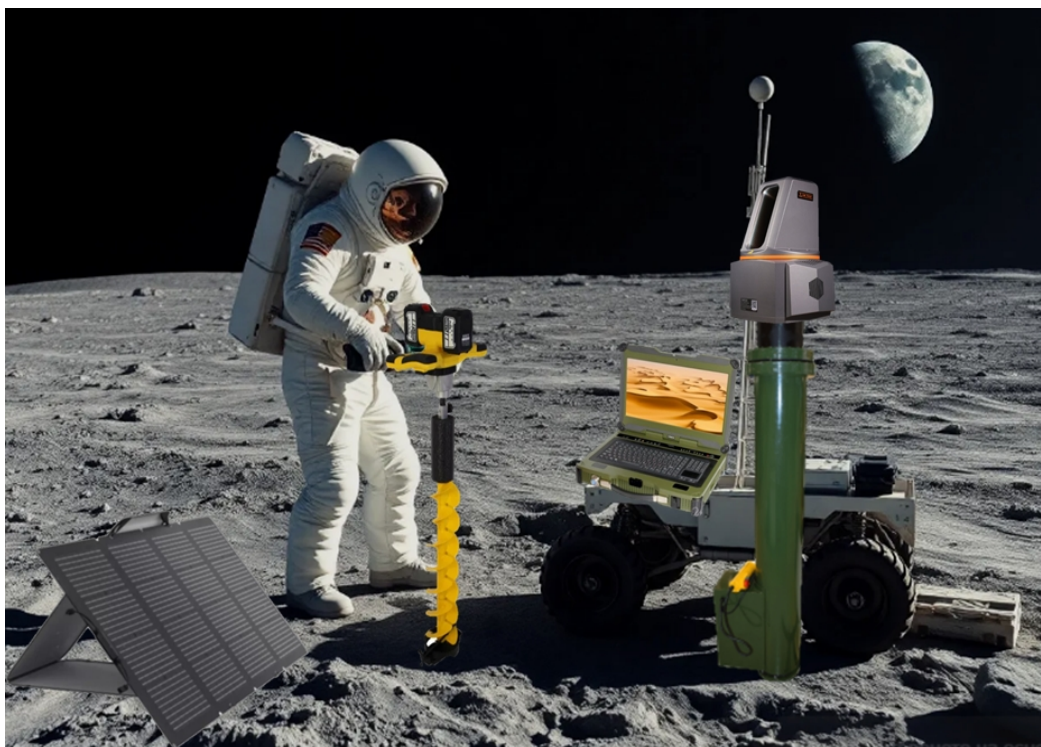


Рис. 21. Навигационное оборудование полигона космонавтами в ходе ВКД

Типовой состав каждой базовой станции НЛС должен включать:

- излучатель напланетного лазерного сканера;
- специальную горизонтированную монтажную платформу;
- управляющий компьютер;
- подсистему передачи данных (модем);
- подсистему электропитания (как правило, солнечная батарея + аккумуляторный блок).

Основной способ развёртывания активного оборудования МСК состоит в установке центрированных и горизонтированных платформ, жёстко закреплённых на специальных заглублённых в реголите мачтах с относительной высотой не менее 2 м. Подъем излучателя на большую высоту, как и увеличение высоты крепления уголкового отражателя, будут влиять на дальность прямой видимости (Дпв), определяемую кривизной поверхности Луны

(уменьшение зоны теней, повышение качества лазерной пеленгации и идентификации объектов) и рассчитываемую как:

$$D_{\text{пв}} = 1,86 \sqrt{H_{\text{нлс}} + ha},$$

где $H_{\text{нлс}}$ – высота излучателя НЛС, ha – высота идентифицируемого объекта (углового отражателя-идентификатора абонента).

Излучатели НЛС размещаются на указанных платформах, а управляющий компьютер и модем располагается в специальном термобоксе на мачте или рядом с ней (рис. 21, 22).

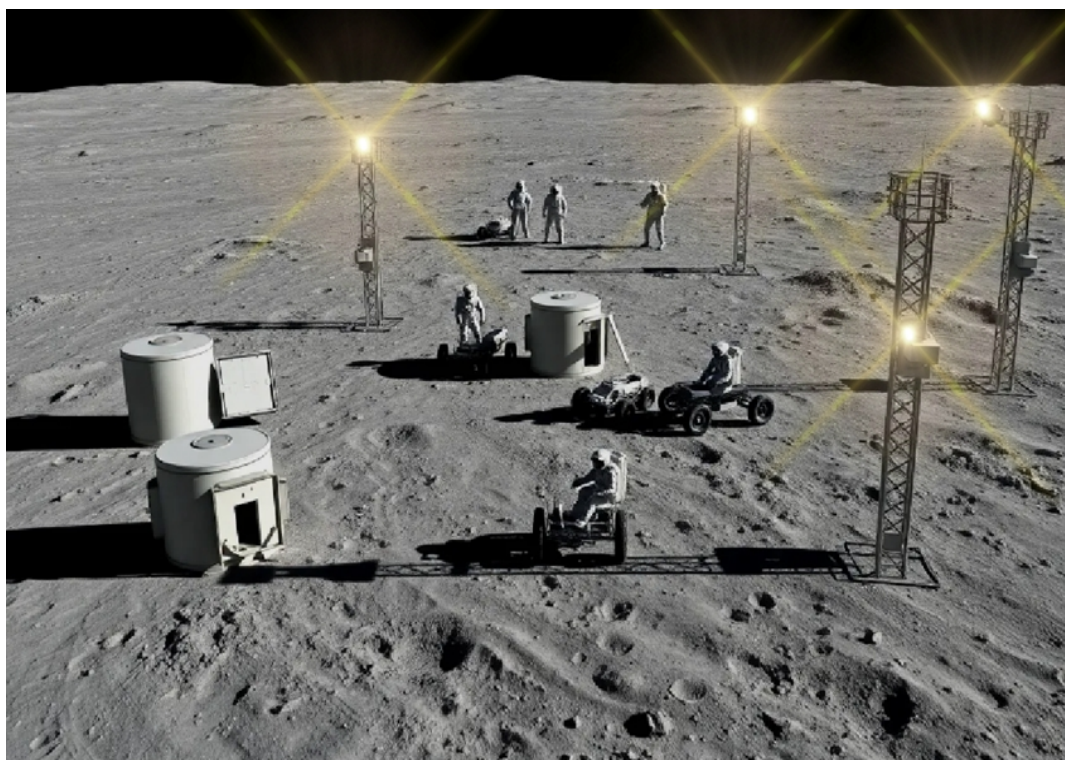


Рис. 22. Расстановка и крепление мачт НЛС на поверхности

Непрерывное электропитание системы осуществляется от солнечных батарей, а дискретное – от аккумуляторов (или, например, генераторов, функционирующих на водородном топливе).

Использование локальных координатных сетей, интегрированных с НЛС, является наиболее эффективным методом как в техническом отношении, так и в финансовом плане. Высокая степень его проработанности в земных условиях и относительная простота реализации в космосе по сравнению с глобальными спутниковыми системами позиционирования требуют самого внимательного отношения со стороны экспертного сообщества.

Физическое оснащение ведущей базовой станции современными автоматизированными средствами астрономической навигации (интеграция их элементов в МСК) и привязка каждого из этих активных средств в селенографической и/или планетографической системах координат позволит позиционировать положение объектов на поверхности Луны с абсолютной точностью от 1 до 50 м в целях использования указанных данных внешними потребителями (например, на Земле или лунных орбитах).

Применение описанной выше МСК позволит надёжно решать весь перечень сформулированных навигационных задач и иметь значительный потенциал их развития. Важной особенностью реализации системы на основе сканирующих лидаров является то, что в результате проведения указанных работ, формируется актуальная высокоточная единая пространственная модель территории лунной базы, обеспечивающая 4-D навигацию луноходов, специальной техники и космонавтов при проведении различных видов ВКД.

Высотной отметкой, принимаемой за «0» (ноль) в МСК, может быть жёстко зафиксированное фактическое положение геометрического центра излучателя НЛС основной (ведущей) базовой станции.

Как сказано выше, при необходимости возможен пересчёт высотной координаты этого положения в селенодезической системе координат. Положение опорного меридиана МСК для отсчёта направлений может быть установлено условно, например, как базовая линия, проходящая через две станции НЛС, либо осуществлена его привязка в системе ULCN-2005 (или иной селеноцентрической системе) с учётом существующих погрешностей абсолютного позиционирования современными средствами астронавигации.

Создание и использование единой пространственной модели на основе предлагаемой МСК, в общем случае, состоит в реализации следующих пространственно-технических алгоритмов:

а) круговом или секторном лазерном сканировании территории лунной базы и её полигонов с целью получения исходной (эталонной) пространственной информации обо всех элементах сети для каждой из базовых станций в цифровом виде;

б) взаимной увязке требуемых параметров сети (при числе базовых станций НЛС более одной), первичном формировании и использовании цифровой модели рельефа (ЦМР), а также цифровой модели местности (ЦММ) на основе базовых осей МСК;

в) активном измерении местоположения всех контролируемых объектов и параметров рельефа планеты (с указанной выше точностью), а также передача координатных данных и

меток единого времени (x ; y ; z ; t) всем потребителям сети с заданным темпом обновления пространственной информации лидаром – по запросу или в соответствии с алгоритмом.

При этом, идеология навигационной системы может быть реализована двумя основными программно-аппаратными способами, либо их комбинацией: 1) более простой – получение навигационных параметров для любого внутрисетевого потребителя с высокой дискретностью данных путём их адресной передачи от модема ближайшей (оптимальной) базовой станции на приёмник навигационного устройства соответствующего напланетного транспортного средства, РТС или космонавта; 2) более сложный – измерение относительного положения каждой видимой базовой станции НЛС и иных характерных узловых элементов сети, оборудованных специальными уголковыми отражателями. Выполняется с помощью мобильных лидаров (установленных на каждом или на некоторых (наиболее важных) транспортных средствах, роботах или скафандрах космонавтов), осуществляющих непрерывное круговое сканирование местности с последующим обменом пространственной информацией в сети; 3 – комбинация указанных способов с использованием интеллектуальных средств управления координатной сетью (рис. 23).

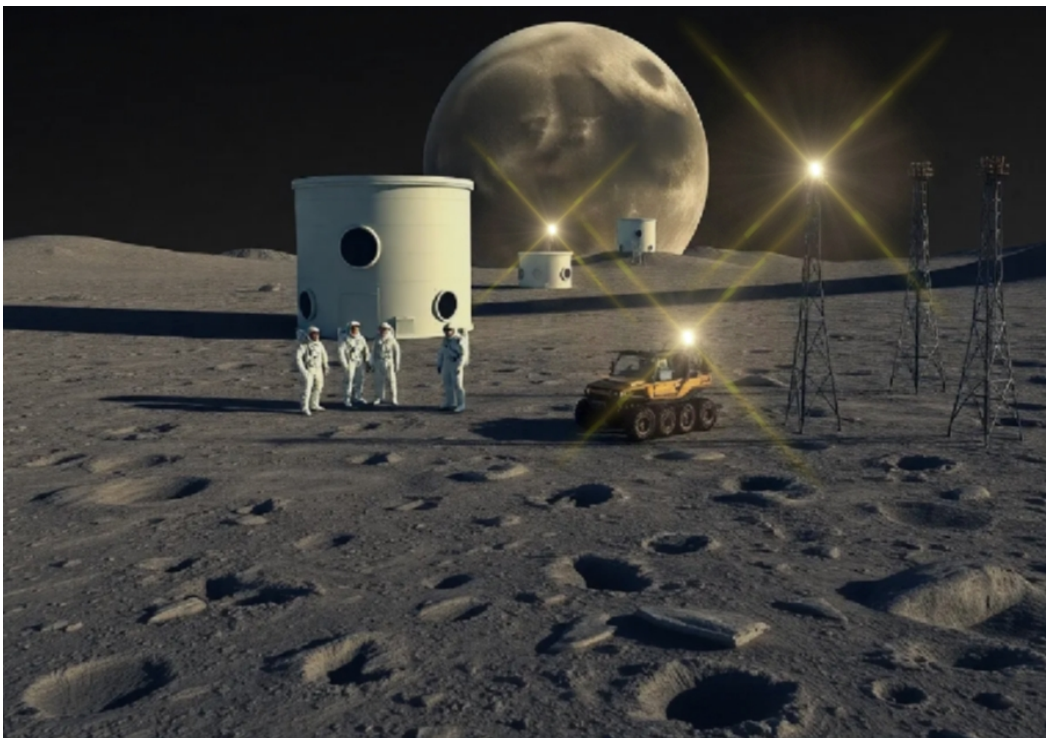


Рис. 23. Комбинированный способ применения лидаров для навигации на Луне

Как указано выше, наиболее доступным вариантом решения навигационных задач в ограниченном районе, является использование плоской прямоугольной Декартовой системы.

В целях повышения точности позиционирования и совершенствования методов напланетной навигации, в дальнейшем возможен переход к расчётам с использованием математических моделей, основанных на алгоритмах сферической тригонометрии.

Основные достоинства использования представленной МСК на Луне:

- 1) простота развёртывания, портативность;
- 2) возможность наращивания элементов системы и периодического переуравнивания сети;
- 3) возможность предварительной отработки и отладки технологии НЛС на Земле;
- 4) высокая внутренняя сходимость координат (относительная точность позиционирования) и универсальная форма их цифрового представления;
- 5) большой технический ресурс системы;
- 6) невысокая сравнительная стоимость;
- 7) простота обслуживания, ремонта и модернизации;
- 8) обеспечение максимальной автоматизации работ благодаря применению универсальных цифровых форматов данных;
- 9) селенодезическая привязка центра МСК в глобальных системах координат (для внешнего использования) с возможно достижимой современной точностью абсолютного позиционирования;
- 10) адресность представления навигационных данных;
- 11) высокая надёжность и непрерывность работы в условиях космоса;
- 12) низкие энергетические затраты;
- 13) использование координатной информации сети в целях высокоточной текущей навигации абонентов, а также для получения и актуализации данных ЦМР и ЦММ протяжённых лунных территорий.

Заключение

Применение высокоточных пространственных данных, полученных на основе использования МСК, позволит определять абсолютное и относительное положение внутрисетевых объектов и решать все виды навигационных задач на локальной территории Луны. К ним, прежде всего, относятся - сопровождение и контроль хода строительно-

монтажных работ, координатное обеспечение научных космических исследований и экспериментов, а также повышение надёжности и безопасности проведения пилотируемой напланетной деятельности.

В настоящее время существуют отработанные технологии наземного лазерного сканирования, адаптация которых для условий Луны обеспечит оперативную и высокоточную пеленгацию артефактов и природных образований на её поверхности.

Использование цифровых пространственных данных, характеризующих состояние лунных территорий и напланетных инфраструктурных объектов позволит проводить оперативное управление лунной базой, а также осуществлять её эффективное развитие.

Список литературы

1. Леонов В. А. *Постоянная лунная станция как приоритет России в освоении ресурсов космоса* // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 4. С. 56-67.
2. Кричевский С.В. *Освоение Луны: история, модель, сверхглобальный проект и экологичные технологии* // Воздушно-космическая сфера. 2019. №3. С. 16-25.
3. Дикарев В.А., Дубинин В.И., Симбаев А.Н., Кикина А.Ю., Чеботарев Ю.С., Никитов Э.В., Розанов И.А. *Исследование возможностей использования робототехнических систем для поддержания операторской деятельности экипажей и формирования экосистемы / микроклимата сотрудничества* // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 2 (47). – С. 15-31.
4. Дикарев В.А., Симбаев А.Н., Кикина А.Ю., Чеботарев Ю.С., Никитов Э.В., Буковская И.А., Белявский А.Е. *Об обеспечении коллаборации космонавтов с робототехническими системами для перспективных пилотируемых полётов* // Пилотируемые полеты в космос. – 2024. – № 4 (53). – С. 36-47.
5. ГОСТ Р 51872-2002 *«Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения»*.
6. Майборода А. О. *Эффективные способы защиты от космических факторов в межпланетном полёте и внеземной колонии* // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 3. С. 32-41.
7. Багров А. В., Леонов В. А. *Проблемы перехода от исследований Луны к ее освоению* // Воздушно-космическая сфера. 2020. №3. С. 22-33.

8. *DARPA примет участие в разработке лунной инфраструктуры*. Документ электронный: URL: <https://www.ixbt.com/news/2023/08/16/darpa-primet-uchastie-v-razrabotke-lunnoj-infrastruktury.html> (дата обращения: 27.12.2024).
9. Александрова Е.А. *В США показали проект инфраструктуры для крупной лунной базы*. Документ электронный: URL: <https://naked-science.ru/article/cosmonautics/v-ssha-rokazali-proekt-in> (дата обращения: 27.12.2024).
10. *Соглашение между правительством РФ и правительством КНР «О сотрудничестве в области создания международной научной лунной станции»*. Документ электронный: URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/international_contracts/international_contracts/2_contract/61731/ (дата обращения: 27.12.2024).
11. Белоусов Р.Н. *Лунная станция России и Китая будет осваивать новые виды ресурсов: объявлено об амбициозной космической программе двух государств. Россия и Китай договорились о создании лунной станции к 2035 году*. Документ электронный: URL: <https://www.kp.ru/daily/27484/4740882/?ysclid=m7btd9nics192893111> (дата обращения: 27.12.2024).
12. *The Global Exploration Roadmap*. Документ электронный: URL: https://global.jaxa.jp/projects/sas/planetary/files/roadmap_e.pdf Документ электронный: (дата обращения: 27.12.2024).
13. *Япония планирует построить завод на Луне для производства водородного топлива*. Документ электронный: URL: <https://dzen.ru/a/X3YaOglfiVHJx8iu> (дата обращения: 27.12.2024).
14. Болкунов, А.И. *Разработка и применение методики оценки эффективности глобальных навигационных спутниковых систем*. Диссертация по ВАК РФ 05.13.01, кандидат технических наук. 2011. – 155 с.
15. Kulikov I.N., Kryuchkov B.I. *Interpretation of the Moon Probing Signals During Landing Using Laser Scanning Systems* // Ежегодный междисциплинарный альманах "Геоконтекст", том 11 №1. – 2023. – С. 5-16. Документ электронный: URL: <https://www.geo-context.org/index.php/geocontext/issue/view/11> (дата обращения: 27.12.2024).
16. Крючков Б.И., Усов В.М., Ярополов В.И. и др. *Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий* // Пилотируемые

- полеты в космос. – 2016. – № 2 (19). – С. 35-57.
17. Шибанов Г.П. *Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нём человека*. М.: Машиностроение, 2007. - 544 с.: ил.
18. ГОСТ Р 21.301-2021 *Система проектной документации для строительства*. Правила выполнения отчётной технической документации по инженерным изысканиям.
19. Петров О.Ф., Зобнин А.В., Липаев А.М., Наумкин В. Н. и др. *Предварительные итоги российско-европейского космического эксперимента «Плазменный кристалл» на научной аппаратуре «плазменный кристалл-4»* // Пилотируемые полеты в космос. – 2024. – № 4 (53). – С. 48-66.
20. Попель С.П. *Лунная пыль* // «Химия и жизнь» №5, 2018. Документ электронный: URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/434299/Lunnaya_pyl (дата обращения: 27.12.2024).
21. Багров А.В. *Исследование и промышленное освоение космических ресурсов* // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 1. С. 90-97.
22. Постановление Правительства Российской Федерации №20 от 19 января 2006 года «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства» (с изменениями на 15.09.2020 г).
23. ISO 22932-1:2020 *Горное дело*. Словарь. Часть 1. Планирование и изыскания.
24. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 26.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). Статья 48.1. ГрК РФ «Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты».
25. Борисенко Д. И. *Природоподобный способ освоения Луны* // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 3. С. 42-49.
26. Шустов Б.М. *Космические ресурсы для развития экономики и науки* // Воздушно-космическая сфера. 2019. №4. С. 46-55.
27. *Определение основных видов нарушений требований проектной документации и нормативных документов в области строительства*. Документ электронный: URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/1d8/4293747342.pdf> (дата обращения: 27.12.2024)
28. *Характерные нарушения норм и правил при строительстве объектов*. Документ электронный: URL: <https://igsnur.udmurt.ru/about/info/messages/243/> (дата обращения: 27.12.2024).

29. *Инженерные изыскания. Недооценка и последствия*. Документ электронный: URL: <https://www.engeco.ru/information/inzhenernye-izyskaniya-nedootsenka-i-posledstviya> (дата обращения: 27.12.2024)
30. СП 317.1325800.2017. *Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ*.
31. «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта...» Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, приказ от 23 октября 2020 г. № П/0393 Документ электронный: URL: https://rkc56.ru/attach/orenburg/Img/news/2020/Prikaz-Rosreestra-ot-23.10.2020-N-P_0393.pdf?ysclid=mauzi82wj779377408 (дата обращения: 27.12.2024).
32. *Определение основных видов нарушений требований проектной документации и нормативных документов в области строительства. Методические рекомендации*. Документ электронный: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101575> (дата обращения: 27.12.2024).
33. *Вынос границ земельного участка в натуру: зачем и как его выполняют*. Документ электронный: URL: <https://m-strana.ru/articles/vynos-granits-zemelnogo-uchastka-v-naturu/> (дата обращения: 27.12.2024).
34. Огородова Л.В., Половнев О.В. *Учебно-методическое пособие по курсу Высшая геодезия и основы координатно-временных систем*. – М.: Издательство МИИГАиК, 2016. 67 с. ISBN 975-5-91188-000-0.
35. М. М. Пшеничная, И. М. Кравчук. *Создание вспомогательной геодезической сети на Луне // Пространственные данные: наука и технологии. Сборник статей по итогам научных конференций*. М., 2021. № 12. С. 75-81. DOI:10.30533/scidata-2021-12-75-81.
36. Баженов, А.В. *Радионавигационные системы / Учебное пособие*. А.В. Баженов, Г.И. Захаренко, А.Н. Бережнов, К.Ю. Савченко./ Под ред. А.В. Баженова – Ставрополь: СВВАИУ (ВИ) , 2007. – 202 с.
37. Шамтов М.С., Аникин И.А., Тарасов А.А. *Обзор и анализ современных радиотехнических систем навигации гражданской авиации* (документ электронный): URL: <https://na-journal.ru/6-2023-radiotekhnika-akustika/5910-obzor-i-analiz-sovremennyh-radiotekhnicheskikh-sistem-navigacii-grajdanskoi-aviacii?ysclid=m731smr8dd958440765>

(дата обращения: 27.12.2024).

38. Кишко Д.В. *Повышение точности определения навигационных параметров вертолѐта при посадке на корабль*. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. МАИ, 2015.- 160 с.
39. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под научной редакцией В.П. Легостаева и В.А. Лапоты. – М.: РКК «Энергия». 2011. - 584 с.
40. Андреев А.О., Нефедьев Ю.А., Демина Н.Ю., Петрова Н.К., Загидуллин А.А. *Разработка методов навигационной привязки окололунных космических аппаратов к селеноцентрической динамической системе координат* // *Астрономический журнал*, 2020, том 97, № 9, с. 765–775.
41. Демина Н.Ю., Андреев А.О., Петрова Н.К., Ахмедшина Е.Н., Мубаракшина Р.Р., Сергиенко М.В., Чуркин К.О., Корчагина Е.П. *Создание селеноцентрической системы на основе квантово–оптических средств наблюдений и данных космических миссий*. - Казань: Казан. фед. ун-т, 2023.- 149 с.
42. Дмитриев А. О. *Концепция оптической навигационной связанной системы для Луны*. Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление» www.rypravlenie.ru том 16 № 3 (48), 2020, ст. 10. Документ электронный: URL: <https://www.rypravlenie.ru/wp-content/uploads/2020/10/10-Dmitriev.pdf> (дата обращения: 27.12.2024).
43. Багров А.В., Дмитриев А.О., Леонов В.А., Москатиньев И.В., Сысоев В.К., Ширшаков А.Е. *Построение оптической лунной навигационной системы на базе космических аппаратов АО «НПО Лавочкина»* // *Космическая техника и технологии* № 4(27)/2019. С. 12-26.
44. Багров А.В., Дмитриев А.О., Леонов В.А., Митькин А.С., Москатиньев И.В., Сысоев В.К., Ширшаков А.Е. *Глобальная оптическая навигационная система для Луны*. Труды МАИ. Выпуск № 99. 2018. 21 с. - Документ электронный: URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=91814> (дата обращения: 27.12.2024).
45. *Учёные предлагают создать "Лунный ГЛОНАСС" из 18 спутников*. Электронный документ: URL: <https://tass.ru/kosmos/3912943> (дата обращения: 27.12.2024).
46. Микрин Е. А., Михайлов М. В., Орловский И. В., Рожков С. Н., Краснопольский И. А. *Спутниковая навигация окололунных космических аппаратов и объектов на поверхности Луны*. // *Гироскопия и навигация*. Том 27, № 1 (104), 2019. С. 22-32.

47. ГОСТ 32453—2017. *Глобальная навигационная спутниковая система. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ. Методы преобразований координат определяемых точек.* 2017 г, 23 с
48. Гордиенко Е.С., Ивашкин В.В., Симонов А.В. *Анализ устойчивости орбит искусственных спутников Луны и выбор конфигурации лунной навигационной спутниковой системы* // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4. С. 40–54.
49. Куликов И.Н. *Лазерные сканирующие устройства и их использование в перспективных лунных миссиях* // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4 (41). С. 57–74.
50. Харламов М.М., Дубинин В.И., Куликов И.Н., Крючков Б.И., Фомина Е.В. *Навигация на лунной базе при проведении космонавтами научных экспериментов* // Материалы 45 международного научного конгресса COSPAR-2024. Научная Ассамблея, Корея, Пусан. 13–21 июля 2024.
51. *Правила установления местных систем координат.* Постановление правительства РФ №139 от 3 марта 2007 г. Электронный документ: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902030825> (дата обращения: 27.12.2024).
52. Обиденко В.И. *Единое высокоточное гомогенное координатное пространство территорий и местные системы координат: пути гармонизации* // Вестник СГУГиТ, Том 25, № 2, 2020. С. 46–62.
53. Левитская Т.И. *Основы геодезии.* Учебное пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — 2-е изд., перераб. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 88 с. ISBN 978-5-7996-2199-5.
54. *Лазерное излучение.* Под общ. Редакцией В.Я. Гранкина. М., Воениздат, 1977. — 192 с.
55. Кириллов Г.А., Захаров Н.Г. *Пособие по физике лазеров. 2-е изд. стереотип.* / - Саратов: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2020. – 236 с; ил.
56. Алексей Комраков. *Лазерная трёхмерная сканирующая система Riegl.* Электронный документ: URL: <https://sapr.ru/article/19709?ysclid=m8ehpgaymb740408284> (дата обращения: 27.12.2024).
57. Алексеева О.А., Алфёров Н.А., Созонов П.С. *Возможности лазерного сканирования и фотограмметрии.* Электронный документ: URL: https://mnv.irgups.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/andreeva_alfyorov_sozonov._vozmozhnosti_ls_i_fotogr.pdf (дата обращения: 27.12.2024).

58. Середович В.А., Иванов А.В. *Исследования точности измерений, выполненных наземным лазерным сканером*. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. Т. 1. № 3. С. 134-143.
59. НАСА/ТМ–2020-220442. *Перспективы инфраструктуры дальнего космоса, развития и колонизации*. Исследовательский центр Денниса М. Бушнелла и Роберта В. Мозеса Лэнгли, Хэмптон, Вирджиния. Февраль 2020. Электронный документ: URL: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20200001142> 2020-03-28T19: 03: 58+00: 00Z (дата обращения: 27.12.2024).