

ЛАЗЕРНЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛУННЫХ МИССИЯХ

И.Н. Куликов

Канд. воен. наук, доцент И.Н. Куликов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В настоящей статье представлены подходы к использованию современных лидарных (от англ. LIDAR – *Light Identification, Detection and Ranging*) сканирующих систем при обследовании Луны и других планет. В основе исследования лежит современный отечественный и зарубежный опыт применения воздушных (ВЛС), мобильных (МЛС) и наземных (НЛС) лазерных сканеров. Рассмотрены вопросы использования космических сканирующих систем в интересах проведения пространственно-технического мониторинга. Сформулированные проблемы создания и эксплуатации космических сканирующих систем позволяют определить приоритетные направления прикладных научных исследований в данной предметной области.

Ключевые слова: лидары, космические сканирующие системы, основные направления применения лазерных сканеров, обследование Луны.

Laser Scanning Devices and Their Use in Future Lunar Missions.

I.N. Kulikov

The paper gives approaches to the use of existing LIDAR (Light Identification, Detection and Ranging) scanning systems to survey the Moon and other planets. The study conducted is based on available domestic and foreign experience in using aerial (ALS), mobile (MLS), and ground (GLS) laser scanners. Issues of using space scanning systems for spatial and technical monitoring are also considered. The formulated problems of the creation and operation of space-purposed scanning systems allow determining the priority lines of applied scientific studies in this subject area.

Keywords: lidars, space scanning systems, main applications of laser scanners, survey of the Moon.

Некоторые вопросы применения лидарных сканирующих систем в интересах историко-технических исследований и сохранения научно-технической информации о Международной космической станции (МКС) ранее уже рассматривались в [1]. Однако без должного внимания осталось еще одно из важных, интересных и перспективных направлений применения сканирующих систем в составе оборудования лунных орбитальных станций, лунных взлетно-посадочных комплексов (ЛВПК), а также при проведении напланетных миссий, обследовании поверхности Луны и других планет. Полученные цифровые данные образуют основу постоянной, актуальной и объективной

информации о пространственно-техническом состоянии местности и рельефа, позволяют повысить качество и эффективность принимаемых космонавтами решений по контролю, управлению состоянием и обеспечению безопасности объектов (территорий) мониторинга.

Базовый состав лазерных сканирующих систем. Основные направления современного применения ВЛС, МЛС и НЛС

Закончилось второе десятилетие успешного использования прикладного метода дистанционного лазерного сканирования (лазерной локации) для гражданских целей. На его основе уже произведена съемка половины территории США, более 2/3 территории Великобритании, выполнено полное картографирование Тайваня и Японии. Одновременно на основе технологии ВЛС, НЛС и МЛС за указанный период в нашей стране проведена инженерная съемка многих крупных промышленных, транспортных и энергетических инфраструктурных объектов, включая магистральные электрические сети ОАО «ФСК ЕЭС», высокоскоростные железные дороги ОАО «РЖД», а также основные газопроводные системы Сибири и Дальнего Востока.

Главными мировыми разработчиками и производителями *лидаров*, а также надежными поставщиками основной доли конечной технологической продукции, являются компании: «Riegl» (Австрия), «Optech Inc» (Канада), «Leica Geosystems» (Швейцария) и др. Следует отметить, что в настоящее время Российская Федерация, а также США, Германия и Великобритания занимают определенную долю современного рынка указанных систем.

Основными предметными областями, где лазерное сканирование сейчас получило наибольшее распространение, являются [2; 3]:

- пространственно-технический мониторинг состояния окружающей среды, а также распределенных линейных и площадных объектов;
- инженерные топографо-геодезические изыскания, землеустройство и лесоустройство;
- получение исходных данных для проектирования и контроля исполнения промышленного, транспортного, гидротехнического и других видов строительства;
- получение актуальных данных об объектах, местности и рельефе для обновления картографической продукции различного, в том числе, военного назначения.

Вне зависимости от конкретного технического исполнения, при создании воздушных, наземных или мобильных лазерных сканеров, как правило, реализуется общая принципиальная схема этих устройств. На рисунке 1 показаны основные элементы данной структуры.

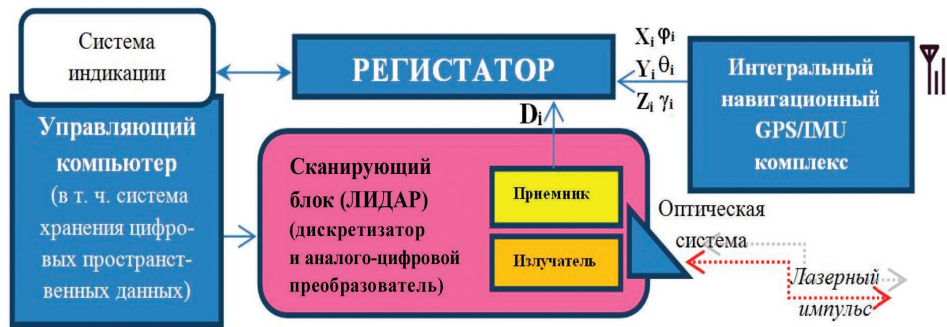


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема лазерного сканера

При этом следует понимать, что *пространственная* развертка луча при наземном лазерном сканировании осуществляется с помощью специального электромеханического устройства – сервопривода (рис. 2), а в случае с воздушным и мобильным лазерным сканированием, *поперечная* развертка выполняется за счет высокоскоростного вращения излучателя либо отклонения лучей в заданном секторе специальным качающимся зеркалом (линзой). Характеристики *продольной* развертки (длина зоны лазерной съемки, количество точек лазерного излучения, приходящихся на единицу площади съемочной поверхности, расстояние между «сканами» и т.д.) зависят от скорости и направления перемещения транспортной платформы. Виды таких платформ и некоторые их особенности будут рассмотрены далее.

В основу работы лазерных дальномеров, используемых в технологии лидаров (получение и обработка информации об удаленных объектах с помощью *активных* оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах) положены импульсный или фазовый безотражательные методы измерения расстояний, а также триангуляционный метод – для некоторых систем НЛС [4].

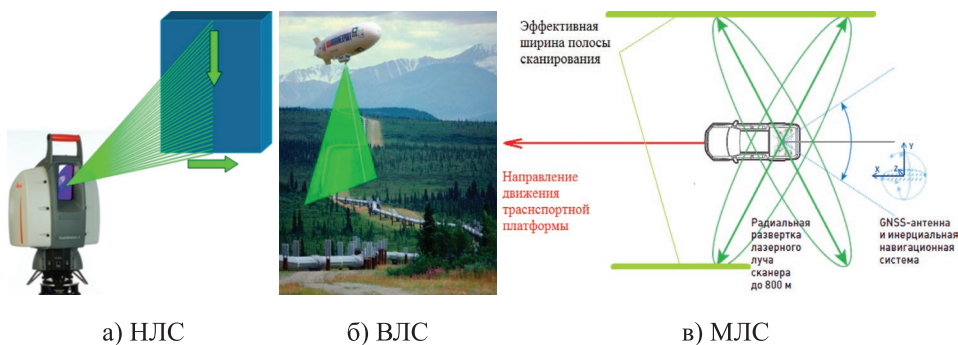


Рис. 2. Формирование пространственной развертки при сканировании

Первыми примерами технической реализации лидара в сферах гражданского использования стали именно системы наземного лазерного сканирования. НЛС обладает следующими достоинствами по отношению к другим неразрушающим способам получения пространственной информации:

- возможность определения пространственных координат целостного облака точек объекта в полевых условиях;

- трехмерная визуализация результатов съемки в режиме реального времени, позволяющая уже на этапе производства полевых работ определить «мертвые» зоны;

- существенно меньшее количество требуемых точек сканирования (*скан-позиций* или центров проектирования) в отличие от фотограмметрического способа;

- возможность дистанционного получения высокоточной информации для обеспечения безопасности исполнителя работ при съемке в труднодоступных местах и опасных районах;

- высокая производительность НЛС, на порядок сокращающая время съемочных работ при создании цифровых моделей объектов (местности, рельефа), что значительно повышает экономическую эффективность метода;

- НЛС можно выполнять при любых условиях освещения, днем и ночью (т.к. сканеры являются активными съемочными системами) в условиях положительных или слабо отрицательных температур наружного воздуха;

- при НЛС достигается сверхвысокая степень детализации (пространственного разрешения);

- за счет применения универсального программного обеспечения, высокой точности и детальности съемки и, следовательно, качества получаемых пространственных данных возможно оперативное автоматизированное использование результатов наземного лазерного сканирования как при проведении предпроектных инженерных изысканий (проектировании), так и при натурном моделировании объектов, проведении архитектурного контроля, оценке результатов строительства (состояния) пространственно-распределенных объектов сложной транспортной и промышленной инфраструктуры.

На рис. 3 показан внешний вид современных приборов НЛС и проиллюстрированы примеры их практического применения.



Рис. 3. Оборудование и реализация технологии НЛС

По мере развития технологии НЛС, а также в связи с уменьшением фактических массогабаритных характеристик приборов и требуемых энергетических затрат на функционирование системы появилась возможность их установки на борт летательных аппаратов. Другими существенными условиями рождения *воздушного* лазерного сканирования стало: наличие, приемлемых, на тот период, характеристик систем гиросtabilизации и позиционирования бортового оборудования; начало широкого гражданского внедрения спутниковой навигации; объективный рост потребностей в топографо-геодезической съемке больших удаленных площадей земной поверхности, определяемый задачами промышленного развития территорий, дорожного строительства и энергетики; необходимость широкого обновления картографического фонда.

Первые модели оборудования ВЛС весом в несколько сотен килограммов (а *батиметрические* воздушные лазерные сканеры, предназначенные для картографирования дна водоемов сквозь воду, обладали общей массой более 1,5 тонн) имели жесткие ограничения по выдерживанию скорости и высоты полета, курса, крена и тангажа при съемке. В настоящее время, в связи со значительным уменьшением веса и габаритов воздушных лазерных сканеров и совершенствованием их технических характеристик, появилась возможность монтажа ВЛС на легкие самолеты, вертолеты и даже беспилотные авиационные носители (БПЛА).

Отдельной вехой в мировой практике ВЛС стало широкое использование для этих целей российских пилотируемых дирижаблей АУ-30. Они были разработаны в качестве летающих лабораторий как альтернатива вертолетам Ми-8. Эти уникальные воздушные суда успешно применялись в диапазоне высот полета от 200 до 2000 метров для дистанционного пространственно-технического мониторинга магистральных и распределительных высоковольтных линий электропередачи, газопроводов, нефтепроводов, контроля дорожной сети, а также гравиметрической и магнитометрической съемки территорий, отработки методов воздушной разведки, связи и управления Вооруженных сил РФ, экологического мониторинга и пр.

На рис. 4 проиллюстрированы современные способы организации ВЛС, а также показаны наиболее распространенные воздушные сканеры.

Первые *мобильные* лазерные сканеры, эксплуатирующиеся в нашей стране с 2010 года, стали удачным развитием технологии лидаров на базе неавиационных транспортных платформ. Их рождение и широкое внедрение было обусловлено, прежде всего, потребностями в 3D-съемке протяженных линейных инженерных объектов, каковыми являются автомобильные и железные дороги. Другой задачей, решение которой было возложено на МЛС, размещенных на судах, было картографирование сети рек и каналов, береговой черты крупных площадных водоемов, оборудованных сложными инженерными сооружениями (мостами, плотинами, дамбами).



а) один из массовых воздушных лазерных сканеров ALTM-30/70 на борту Ми-8



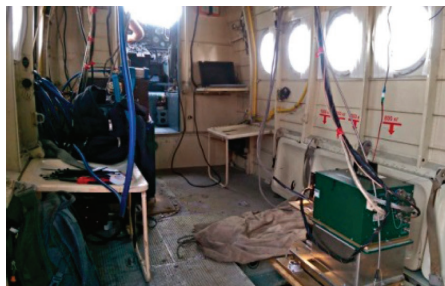
б) комплект воздушного лазерного сканера «Leica Geosystems» ALS-50 II



в) монтаж излучателя сканера на внешней подвеске вертолета



г) размещение сканера в специальном подкрыльевом пилоне легкого самолета



д) установка воздушного лазерного сканера в салоне самолета Ан-2



е) размещение излучателя сканера и фотокамеры над люком вертолета Ми-8



ж) многофункциональный аэросъемочный комплекс в гондole дирижабля AU-30



з) уникальное современное решение (мини-сканер на платформе коптера)

Рис. 4. Технологии ВЛС: оборудование и способы реализации



а) мобильный сканер компании *OPTECH* на шасси легкового автомобиля б) автомотриса, оборудованная МЛС *Lynx Mobile Mapper* (Октябрьская ЖД)

Рис. 5. Варианты применения мобильных лазерных сканеров

При мобильном лазерном сканировании задачи дистанционного обследования решаются с безопасных дальностей [5] и ракурсов, недостижимых при ВЛС, и с темпом работ, невозможном при НЛС.

В практике МЛС, осуществляемого в нашей стране, наибольшее распространение (по масштабам выполненной съемки) получили технологии автомобильного и, особенно, железнодорожного сканирования (рис. 5).

Принцип работы мобильного лазерного сканера достаточно прост. Высокоскоростной лазерный дальномер или его отклоняющее зеркало устанавливаются на вращающейся основе (обычно это называется «лазерная головка»). За один оборот головки дальномер делает десятки тысяч измерений, что дает «разрез» окружающего пространства в одной плоскости (рис. 2, в). Если установить лазерную головку на шасси и начать поступательное движение под углом к плоскости сканирования, то дальномер с каждым оборотом головки, по сути, будет снимать новую плоскость. В результате получится множество поперечных «разрезов» (сканов) вдоль направления движения транспортной платформы с шириной захвата от границы «мертвой зоны» до дальности в 250...300 метров и более (влево-вправо) от оси движения.

Для вычисления координат отдельных точек лазерных сканов при МЛС, как и в случае с наземным и воздушным сканированием, необходимо знать точное положение и ориентацию головки в пространстве в момент каждого измерения. Для этого используются инерциальные навигационные системы (ИНС), совмещенные с бортовым ГЛОНАСС/GPS – приемником геодезического класса и, при необходимости, временная сеть специально создаваемых наземных спутниковых базовых станций.

Данные МЛС широко используются при организации технического обслуживания и ремонта пути, позволяют оптимизировать процессы строительства в полосе отвода железной дороги, являются базисом автоматизации ряда задач по 3D-проектированию, а также стали основой системы комплексной безопасности в железнодорожной отрасли.

Важнейшей характеристикой лазерных сканирующих систем, несомненно, является *абсолютная точность* определения координат объектов. В таблице 1 представлены практически достижимые величины этого параметра современных систем наземного, мобильного и воздушного сканирования для диапазона расстояний около 150...200 метров (рабочих дальностей съемки, приемлемых для всех указанных систем).

Таблица 1

Тип системы сканирования	ВЛС	МЛС	НЛС
Точность определения высоты, см	3...7	–	–
Точность определения места, см	4...9	3...5	1...2

Конечная *абсолютная точность* лазерного сканирования зависит от нескольких составляющих, основными из которых являются:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2},$$

где δ_1 – погрешность прямого измерения расстояния лазерным сканером, обусловленная, прежде всего, методом определения дальности; δ_2 – интегральная ошибка геопозиционирования системы, являющаяся производной величиной возможностей ее GPS(ГЛОНАСС)/IMU комплекса (рис. 1); δ_3 – погрешность, определяемая размером лазерного пятна на местности, напрямую зависящая от дальности сканирования.

В таблице 2 представлены точности (δ_2) современных комплексов прямого геопозиционирования, позволяющие в реальном масштабе времени (за счет совместной обработки спутниковых данных ГЛОНАСС/GPS и инерциальной системы) получить значения абсолютной точности лидара, которые показаны выше.

Таблица 2

Параметр	Значение точности (1 δ_2)
Абсолютные геодезические координаты, м	менее 0,05
Скорость, м/с	0,005...0,004
Крен и тангаж, градусы	0,005...0,002
Курс, градусы	0,008...0,004

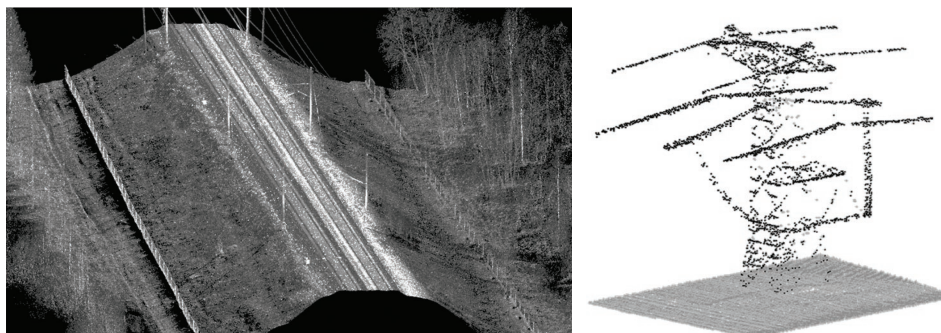
Исследуя тему лазерного сканирования, следует остановиться на формах представления результатов работы лидара. В общем случае, сканирующий луч производит измерение дальности до каждой точки отражения сигнала [6]. Затем в регистраторе происходит синхронизированное (на основе данных системы единого времени) объединение указанного параметра с дан-

ными пространственного позиционирования лидара. В ходе предварительной (полевой или камеральной) обработки накопленной информации эти значения, совмещенные с другими требуемыми параметрами съемки (траекторией полета воздушного судна или движения транспортной платформы МЛС, данными базовых станций, различными калибровочными характеристиками системы и пр.) приводят к появлению первичного облака точек. Далее происходит процедура их классификации по признаку «земля – не земля», интенсивности отраженного сигнала и т.д. Промежуточным итогом такой деятельности является облако точек, несущее требуемую высокоточную пространственную информацию о местности или объекте. Облако, где каждая его точка записана в форме координатного представления ($X_i; Y_i; Z_i$), а также фиксация данных о времени и интенсивности лазерного отражения (и другой служебной информации), в дальнейшем может использоваться в целях векторизации объекта (рельефа), проведения непосредственных измерений, моделирования и т.п.

Отдельно необходимо сказать о *внутренней точности* (сходимости) облака точек лазерного отражения, рассчитываемой для условий местной (связанной с объектом сканирования, например, орбитальной космической станцией) системы координат (МСК), а, следовательно, и о погрешностях модели, создаваемой на основании таких данных. В общем случае, при построении сети жестко закрепленных (реперных) и взаимно увязанных точек стояния (крепления, фиксации) излучателей сканирующих устройств, откалиброванных для заданных условий работы, можно получить точностные характеристики лучше, чем 10^{-3} м. Это позволяет после проведения первичной векторизации данных лазерного сканирования выполнять измерения и оценку относительного положения любого элемента сложного пространственно-распределенного объекта и осуществлять регулярное оперативное сравнение его пространственно-технических параметров с проектными (нормативными), в том числе и напрямую, непосредственно облаку точек.

На рис. 6, а проиллюстрировано облако точек участка железной дороги, полученное в результате МЛС. Здесь отчетливо видна форма призмы железнодорожного полотна, рельсошпальная решетка, элементы электрических сетей, ограждение, древесно-кустарниковая растительность и пр. Каждая точка поверхности и объектов на ней описывается координатно, а совокупность таких точек с атрибутами является, по сути, базой данных или «цифровым двойником» указанного элемента железнодорожной инфраструктуры.

На рис. 6, б представлено исходное облако ВЛС опоры высоковольтной линии электропередачи, а на рис. 7 – «сшитое» по результатам множества наземных скан-позиций конечное программно раскрашенное облако сложного распределенного инфраструктурного объекта (территория металлургического комбината).



а) МЛС – облако точек участка железной дороги Москва – Санкт-Петербург

б) ВЛС – первичное облако точек опоры ЛЭП, после разделения по признаку «земля – не земля»

Рис. 6. Облака точек лазерного сканирования после первичной обработки данных

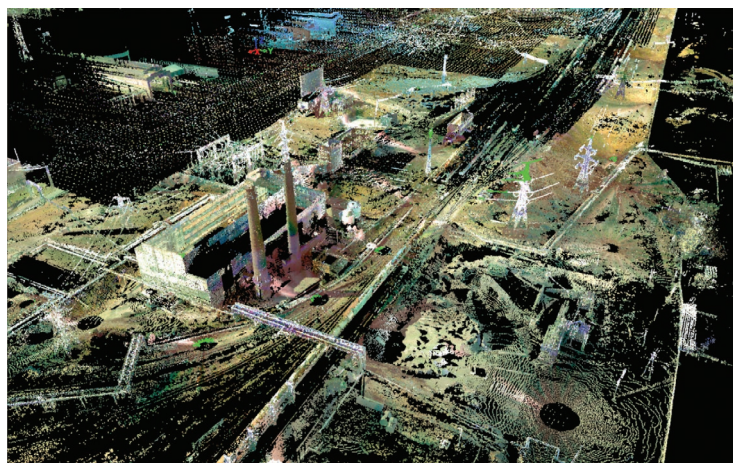


Рис. 7. Итоговое раскрашенное облако точек (металлургический комбинат)

Как следует из теории лазерного сканирования, подтвержденной опытом проведения указанных работ и что проиллюстрировано на рис. 6–7, плотность точек ЛС (количество лазерных отражений, приходящихся на единицу площади), а значит разрешающая способность и точность проводимых измерений, напрямую зависят от расстояния до объекта и физических условий прохождения лазерного импульса.

На дальностях НЛС и МЛС (до 100 м – например, среднее расстояние между узловыми элементами орбитальной МКС в ее нынешнем состоянии) получается результат, близкий к цифровой фотографической съемке (аналогичный высококачественному растровому изображению как по информативности, так и отсутствию искажений).

При $D \geq 600$ м разрешающая способность элементов облака несколько уменьшается, однако остается достаточной и даже избыточной для решения топографо-геодезических задач основного масштабного ряда. Показатели дальности и разрешения лазерной съемки на Луне и Марсе будут объективно лучше в связи с отсутствием ограничений, вызываемых атмосферой Земли.

Технология использования космических лазерных сканирующих систем (ЛС). Направления применения пространственных данных. Основные проблемы внедрения

В настоящее время уникальные свойства современных ЛС находят применение и в ракетно-космической сфере. Например, сегодня известны такие направления реализации лазерных технологий, как использование систем класса «лазерный трекер» при контроле создания ракетно-космической техники на предприятиях отрасли [7], а также решение отдельных локальных задач по пространственно-техническому мониторингу состояния инфраструктуры космодрома Восточный, связанных с проверкой качества его строительства и условий эксплуатации (на основе НЛС). Еще одним частным примером является использование ВЛС и НЛС при проведении предпроектных инженерных изысканий и в ходе проектирования объектов наземной космической инфраструктуры.

Как показывает практика, в зависимости от свойств сенсора и целевых задач применение лазеров из космоса ранее было направлено на получение следующих параметров:

- дальность и высота;
- температура;
- диффузия и плотность газовых сред;
- степень и характеристика облачности земной атмосферы;
- скорость и направление ветра, ветровой сдвиг;
- вид и размерные характеристики ландшафта;
- высота, плотность и иные характеристики лесных массивов;
- шероховатость морской поверхности и др. [8, 9].

Однако потенциал лидарного метода поистине неисчерпаем и может быть эффективно реализован в различных областях пилотируемой космонавтики [10, 11, 12, 13]. Возможности сканеров, оцениваемые по аналогии с их применением в условиях Земли, могут быть широко и эффективно используются, прежде всего, при решении задач научного и прикладного исследования Луны, а также ближайших планет солнечной системы.

Перспективными направлениями применения технологии ЛС, помимо решения задач оптимизации работы (полета) орбитальных космических станций в сложном многомерном информационно-координатном космическом пространстве, являются:

а) дистанционное картографирование поверхности других планет и иных космических тел с целью получения точных, достоверных и актуальных цифровых данных о рельефе (в том числе в районах возможной посадки лунных или марсианских модулей) с разрешением 1 метр и менее (рис. 8);

б) обеспечение автоматического выбора оптимальной точки прилунения и сопровождение посадки лунного взлетно-посадочного комплекса (ЛВПК) (рис. 9);

в) проведение инженерно-геодезических и обеспечение инженерно-геологических изысканий на поверхности других планет методами космического мобильного и напланетного лазерного сканирования (рис. 10) [14];

г) проведение дистанционного авиационного мониторинга поверхности Луны и других планет с помощью беспилотных реактивных летательных аппаратов, оборудованных лазерными системами, подобными ВЛС;

д) проведение с помощью систем, аналогичных НЛС, предпроектных изысканий с целью получения полноценной объективной информации о характеристиках местности с целью ее использования для последующего инженерного проектирования, строительства и эксплуатации напланетных баз, их транспортной и энергетической инфраструктуры, систем безопасности и пр.;

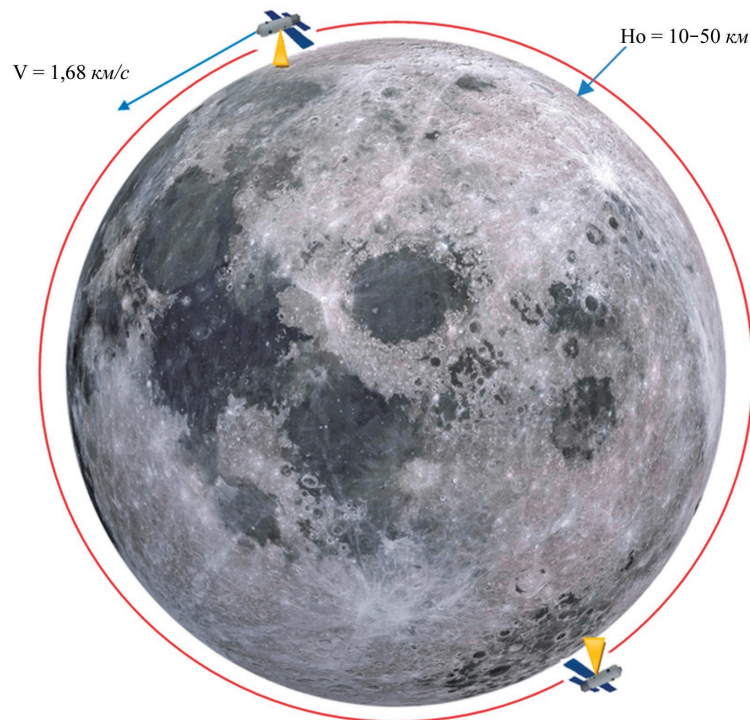


Рис. 8. Полное (частичное) цифровое картографирование Луны с низких круговых орбит на основе использования сканирующих лидаров с разрешением менее 1 м

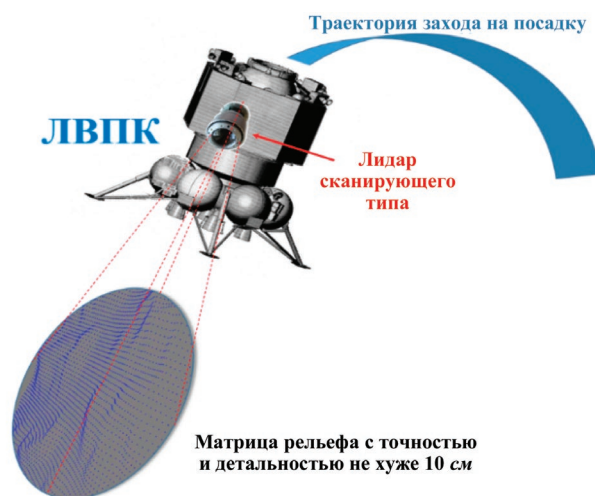


Рис. 9. Автоматический выбор точки посадки ЛВПК с использованием лидара



а) проведение напланетных инженерно-геодезических изысканий

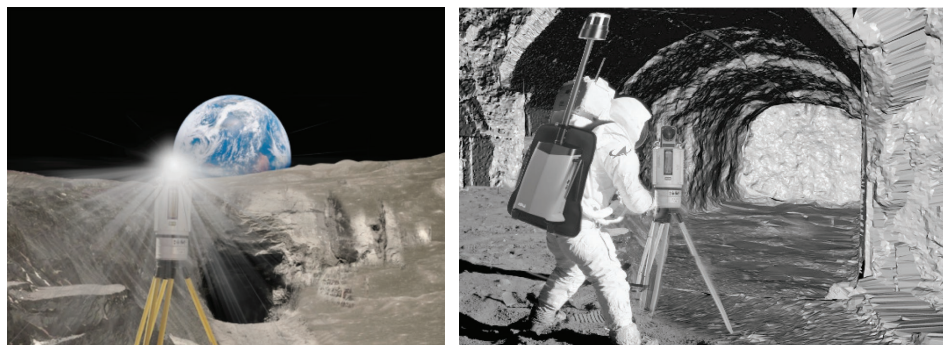
б) проведение напланетных инженерно-геологических изысканий

Рис. 10. Использование мобильных лазерных сканеров при проведении геопространственных измерений на поверхности других планет

е) инженерное обследование лунных пещер и лавовых труб с применением систем, аналогичных НЛС, в том числе в так называемом их «рюкзачном» исполнении с целью получения оперативной и высокоточной информации об этих уникальных геологических объектах для оценки возможности размещения в них элементов будущих лунных (напланетных) баз и др. (рис. 11).

Основными объективными сложностями начального этапа внедрения технологии лазерного сканирования в сфере пилотируемой космонавтики являются:

а) относительная новизна технологии и ее недостаточная проработанность на уровне космических экспериментов [15, 16];



- а) применение наземного лазерного сканирования при создании цифровых моделей рельефа
- б) использование НЛС при обследовании пещерных образований, проектировании и строительстве лунных баз

Рис. 11. Варианты применения технологии НЛС на Луне

б) необходимость разработки специальных излучателей ЛС с учетом требований их функционирования в открытом космическом пространстве;

в) расчет потребного числа и рационального взаимного размещения излучателей на территории (поверхности) объекта с учетом минимального затенения ее элементов;

г) заблаговременная подготовка установочных мест излучателей на поверхности космических модулей при их изготовлении предприятиями отрасли (до вывода на орбиту), либо проведение специальных сложных монтажно-сварочных работ в условиях открытого космоса, в том числе при строительстве или развитии орбитального (напланетного) комплекса и усложнении его архитектуры;

д) навигационное (геодезическое, координатное) сопровождение функционирования многоэлементных сетей КЛС в абсолютных системах координат – проведение расчета фактических элементов сети, их увязка и последующий учет фактических *оффсет-параметров* – углов и линейных элементов взаимного внутреннего ориентирования используемых фотокамер, излучателей, центра антенны используемого спутникового приемника и инерциальной системы;

е) программно-техническая интеграция сети излучателей с бортовыми вычислительными системами напланетных и орбитальных станций;

ж) расчет и обеспечение потребных резервов электроэнергии для функционирования данной энергоемкой технологии;

з) разработка специального программного обеспечения, предназначенного для управления сетью КЛС конкретной конфигурации и т.д.

Результатом изыскательских работ на поверхности других планет с использованием лидарной съемки станет геодезически привязанное облако точек лазерных отражений, являющееся цифровым двойником обследованного

рельефа, местности и объектов на ней – так называемая единая пространственная модель (ЕПМ).

Компьютерное представление инфраструктуры напланетной базы или топологии орбитальной космической станции в виде связанных, высокоточных и актуальных цифровых данных о ее архитектуре, состоянии и пространственно-технических характеристиках ее элементов позволит:

- проводить автоматическое дискретное (псевдонепрерывное – с темпом сканирования устройств лазерной съемки) обновление данных ЕПМ, в том числе по первичному облаку точек с целью постоянного контроля ее элементов и сравнения их пространственного положения (состояния) с эталонным (нормативным) в любое время суток и на любом этапе работы космической станции (например, при объективном контроле положения распределенных элементов базы, пространственно-технического состояния надувных трансформируемых модулей, проведении работ по приему и взлету ЛВПК и т.п.);

- решать задачи управления роботизированными космическими системами в местной (связанной) системе координат космического объекта, либо абсолютной СК без прямого визуального контакта человека и объекта управления, в том числе автоматически (программно) с заданной высокой точностью, надежностью и эффективностью проведения любых технологических операций в границах пространства лунной базы (в границах ЕПМ);

- разработать средства комплексного управления системами напланетной базы на основе ее общей актуальной топологии, оптимизируемой для решения различных инженерных задач в едином цифровом пространстве, в том числе за счет мониторинга пространственно-технического состояния объектов станции и автоматического получения прогнозов возможных угроз их работоспособности;

- разработать средства поддержки принятия решений в составе нового поколения информационных систем для всех уровней иерархии управления жизненным циклом базы от функционала членов космического экипажа (космонавтов-испытателей, космонавтов-исследователей, командира, бортовых инженеров и пр.) до должностных лиц ГОГУ (Главной оперативной группы управления и аналогичных) в рамках назначения и характеристик их рабочих мест.

В заключение следует отметить, что внедрение технологии лазерного сканирования в практику деятельности российских космонавтов как в ходе орбитальных полетов, так и при проведении будущей напланетной деятельности, потребует уже в ближайшее время дополнить программы подготовки экипажей в НИИ ЦПК путем включения новых теоретических и практических элементов. Изменения должны касаться и планов перспективных НИОКР и учебно-методической работы в Центре. Объективно, потребуется вводить новые теоретические курсы на этапе общекосмической подготовки, проводить тренировки с космонавтами в условиях лавовых пещер для

отработки навыков работы с наземными лазерными системами, в том числе «рюкзачного» типа, разрабатывать и испытывать напланетные «роверы», оборудованные адаптированными системами МЛС, готовить экипажи к эксплуатации специальной бортовой лидарной аппаратуры сканирующего типа, разрабатывать и внедрять отечественное специальное программное обеспечение и т.д.

Разнородность привлекаемых к указанной деятельности сил и средств, а также масштабность данной работы потребует тесного взаимодействия научных подразделений Госкорпорации «Роскосмос» с ракетно-космической промышленностью, а также реализации современных системных методов подготовки специалистов, включая космонавтов-испытателей и космонавтов-исследователей.

Выводы

1. Существует уникальный лидарный метод и ряд эффективных технологий его реализации, имеющих большой многолетний положительный опыт гражданского применения, в том числе и в нашей стране;

2. Эргономические, конструктивные, массогабаритные и энергетические параметры современного оборудования НЛС, ВЛС и МЛС дают возможность рассматривать его в качестве эффективного средства дистанционного пространственно-технического мониторинга в ракетно-космической отрасли, в том числе в области пилотируемой и беспилотной космонавтики.

3. Точность, надежность и достоверность данных лазерного сканирования позволяют использовать их для создания трехмерных (многомерных) реалистических моделей космических средств, применяемых в интересах проектирования и строительства орбитальных станций, напланетных баз, управления полетом ЛВПК и комплексного решения задач космической безопасности.

4. Представление моделей в цифровой форме по отношению к аналоговому виду имеют ряд неоспоримых преимуществ, связанных с информационной емкостью моделирования, его точностью и достоверностью, гибкостью и адаптивностью, качеством и надежностью представления данных, скоростью обработки информации и неограниченными возможностями модернизации (обслуживания) цифровых систем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Виртуальное 3D-моделирование реальных ПКК в интересах историко-технических исследований и сохранения научно-технической информации об объектах / Батурин Ю.М., Крючков Б.И., Леонов А.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 3(28). – С. 97–116.
- [2] Лазерная локация земли и леса: Учеб. пособие / Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.

- [3] А. Ульрих. Информационное наполнение облака точек при воздушном лазерном сканировании // (<http://geomatica.ru/clauses/188/>) (дата обращения: 09.03.2021).
- [4] Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович и др. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
- [5] Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров СанПиН 5804-91. – Введ. 31.07.1991.
- [6] Комиссаров А.В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ), 2015. – 278 с.
- [7] Сборка и контроль изделий аэрокосмической промышленности // URL: <https://ritm-magazine.ru/ru/public/sborka-i-kontrol-izdeliy-aerokosmicheskoy-promyshlennosti> (дата обращения: 09.03.2021).
- [8] Лидар в космосе // URL: <https://www.spar3d.com/blogs/the-other-dimension/lidar-in-space-2/> (дата обращения: 09.03.2021).
- [9] Российский лидар космического базирования БАЛКАН / Зуев В.Е., Балин Ю.С., Тихомиров А.А., Знаменский И.В., Мельников В.Е. // Космическая наука и технология. – 1997. – № 3(1). – С. 16–25.
- [10] Жуков В.М. Диаграммы рассеяния масштабных макетов космического мусора в условиях солнечно-лазерного подсвета // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 3(24). – С. 90–106.
- [11] Лазер на МКС для борьбы с космическим мусором // URL: <http://www.dailytechinfo.org/space/6946-lazer-kosmicheskij-musor.html> (дата обращения: 09.03.2021).
- [12] Лазерная связь в космосе // URL: https://ru.qaz.wiki/wiki/Laser_communication_in_space (дата обращения: 09.03.2021).
- [13] Лазерное оружие в космосе. Особенности эксплуатации и технические проблемы // URL: <https://topwar.ru/171444-lazernoe-oruzhie-v-kosmose-osobennosti-jeksplyuatacii-i-tehnicheskie-problemy.html> (дата обращения: 09.03.2021).
- [14] Ровер «Персеверанс» сканирует скалы Марса «поющим лазером». Его можно послушать // URL: <https://www.bbc.com/russian/features-56363527/> (дата обращения: 06.04.2021).
- [15] Русский свет в космосе (Лазерные дальнометры) // URL: <http://space.hobby.ru/projects/slr.html> (дата обращения: 09.03.2021).
- [16] Выбор лазеров для увеличения дальности бортовых локационных систем космических аппаратов / Старовойтов Е.И., Савчук Д.В., Зубов Н.Е. // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана, выпуск № 08, 2013. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vybor-lazero-v-dlya-uvlicheniya-dalnosti-bortovyh-lokatsionnyh-sistem-kosmicheskikh-apparatov> (дата обращения: 09.03.2021).

REFERENCES

- [1] Virtual 3D-Simulation of Real Manned Space Complexes in the Interests of Historical and Technical Studies and Saving Scientific and Technical Information About Objects / Baturin Yu.M., Kryuchkov B.I., Leonov A.V. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2018. – No 3(28). – pp. 97–116.
- [2] Laser Location of Ground and Forests: Textbook / Medvedev E.M., Danilin I.M., Melnikov S.R. – 2nd edition, revised and enlarged. – Moscow: Geoscocosmos Publ.; Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2007. – p. 230.

- [3] A. Ulrikh. Point Cloud Content During Aerial Laser Scanning // (<http://geomatica.ru/clauses/188/>) (accessed on 09.03.2021).
- [4] Ground-based Laser Scanning: a Monograph / V.A. Seredovich et al. – Novosibirsk: SSUGT, 2009. – p. 261.
- [5] Sanitary Norms and Rules for Configuration and Operation of Lasers SanPin. 5804-91. – Introduced: 31.07.1991.
- [6] Komissarov A.V. Theory and Technology of Laser Scanning for Spatial Modeling of Territories / Dissertation for the Degree of Doctor of Engineering. – Novosibirsk: Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT), 2015. – p. 278.
- [7] Assembly and Control of Aerospace Products // URL: <https://ritm-magazine.ru/public/sborka-i-kontrol-izdeliy-aerokosmicheskoy-promyshlennosti> (accessed on 09.03.2021).
- [8] LiDAR in Space // URL: <https://www.spar3d.com/blogs/the-other-dimension/lidar-in-space-2/> (accessed on 09.03.2021).
- [9] Russian Space-based Lidar BALKAN / Zuev V.E., Balin Yu.S., Tikhomirov A.A., Znamenskiy I.V., Melnikov V.E. // Space Science and Technology. – 1997. – No 3(1). – pp. 16–25.
- [10] Zhukov V.M. Scattering Diagrams of Scaled Models of Space Debris Under Conditions of Solar-laser Illumination // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2017. – No 3(24). – pp. 90–106.
- [11] ISS Laser for Space Debris Control // URL: <http://www.dailytechinfo.org/space/6946-lazer-kosmicheskij-musor.html> (accessed on 09.03.2021).
- [12] Laser communication in space // URL: https://ru.qaz.wiki/wiki/Laser_communication_in_space (accessed on 09.03.2021).
- [13] Laser Weapons in Space. Operational Features and Technical Issues // URL: <https://topwar.ru/171444-lazernoe-oruzhie-v-kosmose-osobennosti-jekspluatacii-i-tehnicheskije-problemy.html> (accessed on 09.03.2021).
- [14] Rover “Perseverance” Scans the Rocks of Mars Using a “Singing Laser”. You can listen to it // URL: <https://www.bbc.com/russian/features-56363527/> (accessed on: 06.04.2021).
- [15] Russian Light in Space (Laser Rangefinders) // URL: <http://space.hobby.ru/projects/slr.html> (accessed on 09.03.2021).
- [16] Choosing lasers to increase the range of spacecraft onboard location systems / Starovoirov E.I., Savchuk D.V., Zubov N.E. // Scientific Edition of Bauman MSTU, issue No 08, 2013. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vybor-lazero-v-dlya-uvlecheniya-dalnosti-bortovyh-lokatsionnyh-sistem-kosmicheskikh-apparatov> (accessed on 09.03.2021)..