

Перспективы применения лидаров на Российской орбитальной станции

© Р.А. Евдокимов, А.С. Грибков, С.В. Конев, И.С. Мацак,
В.Ю. Тугаенко

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва,
Московская обл., г. Королёв, 141070, Российская Федерация

Рассмотрена возможность и целесообразность использования на борту Российской орбитальной станции многочастотного поляризационного лидара с большой апертурой главного зеркала приемной оптической системы для мониторинга атмосферы и поверхности Земли. Российская орбитальная станция должна стать уникальной платформой для размещения научного и целевого оборудования (предназначенного, в том числе, для дистанционного зондирования Земли), для которого требуется высокий уровень электроснабжения. К такому оборудованию принадлежат лидары для изучения облачности, а также подстилающей поверхности. Рассмотрена область применения и задачи целевой аппаратуры «ЛИДАР-РОС», предложенной на этапе эскизного проектирования станции. Описаны состав, некоторые конструктивные и эксплуатационные особенности, основные технические характеристики и проектный облик целевой аппаратуры «ЛИДАР-РОС». Рассмотрены возможные перспективы развития лидарной технологии для Российской орбитальной станции.

Ключевые слова: Российская орбитальная станция, дистанционное зондирование Земли, солнечно-синхронная орбита, лазерные технологии, многочастотный поляризационный лидар, аэрозольно-облачные поля

Введение. Российская орбитальная станция (РОС) должна стать уникальной многоцелевой лабораторией, предназначенной для выполнения широкого спектра научно-исследовательских и прикладных задач на низкой околоземной орбите после завершения работы Международной космической станции (МКС). В частности, относительно высокая энерговооруженность и размещение станции на приполярной, солнечно-синхронной орбите с наклоном около 97° предоставляют большие возможности для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Орбита РОС обеспечивает:

- обзор всей земной поверхности, включая арктическую и антарктическую области;
- фиксированное местное время пролета над наблюдаемой территорией;
- благоприятные и постоянные условия освещенности, что дает возможность повышения при прочих равных условиях среднесуточной мощности системы электроснабжения;
- относительно стабильный тепловой режим оборудования.

Высокая энерговооруженность РОС позволяет использовать на борту станции оборудование, потребляющее большую электрическую мощность, например, радиолокаторы, антенные системы и лидары.

Лидар — это устройство, которое отправляет лазерный импульс и измеряет параметры излучения, обратно рассеянного твердыми поверхностями, жидкостями, растительностью, аэрозолями, водяным паром или молекулами газа [1].

К числу основных областей применения лидаров в космосе относятся:

- использование в составе систем сближения и стыковки, а также посадки космических аппаратов (КА) — лазерные дальнометры, измерители скорости, альтиметры;

- составление топографических карт и изучение свойств поверхности Земли и других тел Солнечной системы;

- исследование атмосфер Земли, планет и их спутников, включая изучение содержания и распределения отдельных газов, аэрозолей и облачности;

- зондирование поверхности и приповерхностных слоев мирового океана с околоземной орбиты;

- мониторинг лесов и растительной биомассы в целом.

Позитивный опыт применения лидарной техники в интересах решения задач ДЗЗ показывает, что одним из приоритетных направлений работ на РОС может стать глобальный мониторинг атмосферы и поверхности Земли с помощью лидаров. Могут быть получены полные и детальные сведения о различных характеристиках атмосферы с целью формирования прогнозов погоды, мониторинга загрязнений атмосферы, определения концентрации отдельных газов и т. п. [1–6].

Цель данной работы — представить проектный облик и оценки характеристик многочастотного поляризационного лидара для РОС, полученные на этапе эскизного проектирования станции.

Применение лидаров в космосе. Первый опыт применения лидара на борту КА — лазерный альтиметр на «Аполлоне-15» [7]. Активное прикладное применение лидаров в космосе началось в 1990-х годах. В рамках миссии Clementine (США) [8] на окололунную орбиту был запущен КА, оснащенный, в том числе, лазерным альтиметром для изучения топографии Луны. В 1994 г. на борту Space Shuttle Discovery (НАСА) был запущен лидар LITE (Lidar In-space Technology Experiment), предназначенный для исследования облачного покрова Земли и обнаружения различных видов частиц в атмосфере [9]. LITE стал первым в мире лидаром для атмосферных исследований из космоса. В 1995 г. на станцию «Мир» был запущен первый российский атмосферный лидар «Балкан» [10] для зондирования толщи атмосферы

и изучения ее структуры (рис. 1). Миссия носила экспериментальный характер, работы успешно велись до 1997 г. Полученный опыт был учтен при создании российско-французского лидара ALISSA, который работал на станции «Мир» в 1996–1998 гг.

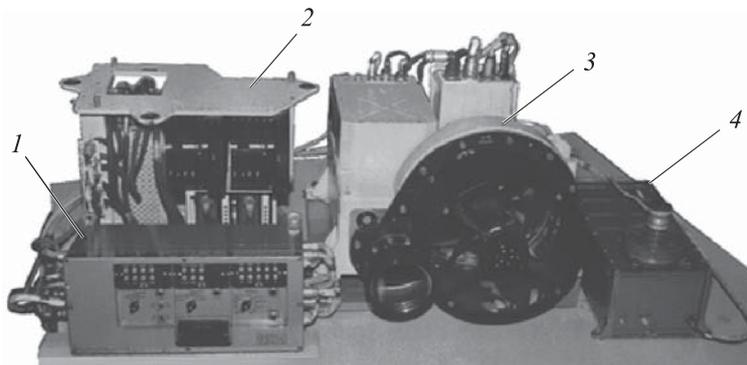


Рис. 1. Лидар «Балкан»:

1 — пульт управления (ППУ-20); 2 — блок регистрации точной дальности (дальномерный канал); 3 — приемопередающее устройство; 4 — блок АЦП

После завершения проектов «Балкан» и ALISSA работы с лидарами космического базирования в России практически не проводились. Однако в мире продолжают успешно развиваться лидарные исследования Земли из космоса, а также различных тел Солнечной системы. К настоящему времени на борту КА, принадлежащих разным космическим агентствам, в космос выведены десятки лидаров [1–6]. На начало 2024 г. было известно о не менее 58 проектах лидаров космического базирования, причем 21 миссия была успешно завершена, а 14 лидаров функционировали в космосе.

В качестве примеров современных успешных лидарных миссий, направленных на решение задач ДЗЗ, можно привести лидары ATLID (рис. 2) и CATS (рис. 3).



Рис. 2. Лидар ATLID



Рис. 3. Лидар CATS

Лидар ATLID [11] был установлен на борту КА EarthCARE, шестой миссии по исследованию Земли в рамках программы «Живая планета» Европейского космического агентства (ЕКА). Цель использования ATLID — получение вертикальных профилей оптически тонких облачных и аэрозольных слоев, а также высоты границ облаков с разрешением 100 м для высот от 0 до 20 км и разрешением 500 м для высот от 20 до 40 км.

Лидар CATS [12, 13] эксплуатировался в составе открытой платформы японского модуля JEM-EF американского сегмента МКС с 2014 по 2020 годы (см. рис. 3 и рис. 4). Этот приборный комплекс, разработанный в Центре космических полетов имени Годдарда (НАСА), обеспечивал изучение распределения и динамики аэрозольных и пылевых частиц в атмосфере Земли в основных коридорах авиаперевозок через Атлантику и Тихий океан.



Рис. 4. Размещение лидара CATS на МКС

Назначение, состав и основные технические характеристики лидара для РОС. На этапе эскизного проектирования РОС выполнена предварительная проработка проектного облика целевой аппаратуры (ЦА) «ЛИДАР-РОС», предназначенной для проведения глобального

мониторинга аэрозольно-облачных полей атмосферы Земли и подстилающей поверхности с использованием многочастотного поляризованного лидара.

Целевая аппаратура «ЛИДАР-РОС» предназначена:

- для исследования оптических и микрофизических характеристик аэрозольных полей атмосферы в широком высотном диапазоне (пограничный слой, тропосфера, стратосфера) — до 45 км;
- изучения оптических и микрофизических характеристик кристаллических и жидкокапельных облаков;
- исследования глобального распределения границ облачности в интересах решения задач климатологии;
- проведения экспериментов для оценки оптического состояния атмосферы в региональном и глобальном масштабах.

В состав ЦА «ЛИДАР-РОС» должны входить лазерная система, приемная оптическая система, система фотоэлектрического преобразования, система электропитания, управления и обработки информации.

Лазерная система (ЛС) обеспечивает:

- генерацию импульсов лазерного излучения с длинами волн 532 нм и 1064 нм, с частотой 20 Гц и длительностью импульсов от 4 до 8 нс;
- формирование лазерного пучка с расходимостью не более 70 мкрад;
- поддержание заданного теплового режима лазеров.

Выбор длины волны лазера определяется оптическими свойствами атмосферы и характеристиками существующих источников лазерного излучения, длительность импульсов — требуемым пространственным разрешением лидара по вертикали, а частота следования импульсов и расходимость пучка — разрешением по горизонтали и достижимой чувствительностью приемной аппаратуры.

Приемная оптическая система (ПОС) предназначена для сбора лазерного излучения, рассеянного атмосферными образованиями и подстилающей поверхностью в направлении ЦА «ЛИДАР-РОС» (фиксации лидарного отклика), а также для выполнения спектральной селекции лидарного отклика.

Система фотоэлектрического преобразования (СФП) обеспечивает преобразование собранного ПОС излучения в электрический сигнал в трех измерительных каналах:

- на длине волны 532 нм с параллельной поляризацией — канал 1;
- на длине волны 532 нм с перпендикулярной поляризацией — канал 2;
- на длине волны 1064 нм — канал 3.

Сравнивая мощность излучения с различной поляризацией в каналах 1 и 2, можно определить изменение поляризации отраженного излучения и, соответственно, свойства отражающего объекта.

Система электропитания, управления и обработки информации (СПУИО) выполняет функции электроснабжения лазерной системы,

приемной оптической системы и СФП, управления режимами работы всех систем в составе ЦА «ЛИДАР-РОС», приема, записи, обработки и хранения результатов измерений и информации о состоянии систем лидара.

Перечисленные системы устанавливаются на несущую платформу (НП), которая обеспечивает:

- фиксацию взаимного расположения оптических осей и жесткую механическую связь ПОС и ЛС;
- поддержание заданного теплового режима целевой аппаратуры;
- интерфейсы с бортовыми системами РОС.

Основные технические характеристики ЦА «ЛИДАР-РОС» для сравнения с характеристиками зарубежных аналогов представлены в таблице.

Технические характеристики «ЛИДАР-РОС» и аналогичных лидаров

Характеристика	CALIOP [14]	CATS	ATLID	ЛИДАР-РОС
Масса, кг	156	500, не более	560	125, не более
Габаритные размеры, мм	1490×1310× ×1000	1500×1000× ×800	1600×1480× ×930	1600×820× ×820
Электропотребление, Вт	124	1000	570	650
Тип лазера	Nd:YAG	Nd:YVO ₄	Nd:YAG	Nd:YAG
Длина волны, нм	1064 и 532	1064; 532; 355	355	1064 и 532
Энергия импульса, мДж	110	1-2	40	200
Частота импульсов, Гц	20	От 4000 до 5000	51	20
Расходимость пучка, мкрад	110	35	28	70, не более
Диаметр объектива, мм	1000	600	620	820, не менее
Поле зрения объектива, мкрад	130	110	60–66	150, не более
Разрешение, м:	по вертикали	От 30 до 300	От 30 до 60	От 100 до 500
	по горизонтали	335	335	285
Диапазон по вертикали, км	От –2 до +40	От –2 до +28	От –0,5 до +40,0	От 0 до +45,0

Проектный облик лидара и его размещение на РОС. Компонировка и габариты лидара определяются, прежде всего, апертурой главного зеркала ПОС, выбором оптической схемы, жесткими требованиями к соосности ПОС и лазерной системы, а также особенностями размещения оборудования на станции.

Опыт разработки и эксплуатации лидаров, близких по назначению ЦА «ЛИДАР-РОС» (см. таблицу), и из [11–14] показывает, что диаметр главного зеркала приемной оптической системы должен быть не менее 0,8 м. С учетом ограничений на габариты ЦА, связанных с основным вариантом ее доставки на РОС с помощью транспортного грузового корабля (ТГК) «Прогресс РОС», на начальном этапе разработки было принято, что главное зеркало ПОС должно иметь диаметр не менее 0,82 м. При этом учитывалась и возможность доставки ЦА в составе одного из модулей РОС (в этом случае можно использовать зеркало большего диаметра). Следовательно, ЦА «ЛИДАР-РОС» должна располагаться на внешней поверхности одного из модулей (ее установка внутри герметичного объема невозможна, так как отсутствуют иллюминаторы требуемого диаметра). Размещение на внешней поверхности станции, на двухосевой поворотной платформе (ДПП), также существенно упрощает выполнение требования по направлению главной оптической оси лидара в точку вблизи надира (отстоящую от него на $3^\circ \dots 5^\circ$ с отклонением не более 10 мрад. Расположение ЦА вне герметичного объема (ГО) с обеспечением теплового режима собственными средствами также снимает проблему выделения теплоты (до 650 Вт) внутри ГО РОС и проблему размещения внутри станции крупногабаритной аппаратуры. Таким образом, ЦА «ЛИДАР-РОС» должна быть работоспособна в вакууме. Внутри ГО одного из модулей РОС должен располагаться только управляющий компьютер.

Общий вид целевой аппаратуры «ЛИДАР-РОС» показан на рис. 5 и 6. Кроме того, на рис. 5 представлен кожух с поворотной крышкой, защищающий оптические элементы лидара от внешних загрязнений.

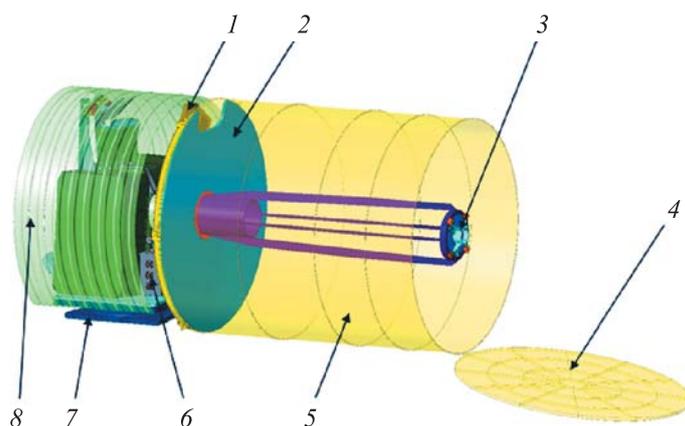


Рис. 5. Общий вид спереди ЦА «ЛИДАР-РОС» с открытой крышкой кожуха:

1 — система фотоэлектрического преобразования; 2 — главное зеркало; 3 — вторичное зеркало в оправе; 4 — крышка кожуха в открытом состоянии; 5 — кожух; 6 — блок электропитания; 7 — пассивный адаптер полезной нагрузки; 8 — теплоизлучающие панели

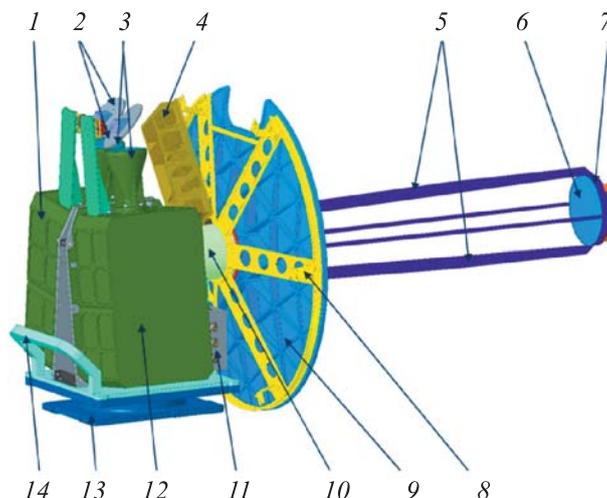


Рис. 6. Вид сзади ЦА «ЛИДАР-РОС» (кожух, крышка, теплоизлучающие панели отсутствуют):

1 — лазер № 2; 2 — отклоняющие зеркала; 3 — коллиматоры лазеров; 4 — система фотоэлектрического преобразования; 5 — стержни опоры вторичного зеркала; 6 — вторичное зеркало; 7 — оправа вторичного зеркала; 8 — кольцо крепления кожуха; 9 — главное зеркало; 10 — центральный цилиндр; 11 — блок электропитания; 12 — лазер № 1; 13 — пассивный адаптер полезной нагрузки; 14 — транспортировочная ручка

Габариты ЦА (1600×Ø820 мм) определяются диаметром главного зеркала и его фокусным расстоянием. Элементы систем лидара (ЛС, СФП и СПУОИ) размещают за главным зеркалом на несущей платформе.

Пучок лазерного излучения, сформированный коллиматором лазера, падает на отклоняющее зеркало, которое направляет его (через вырез в главном зеркале) параллельно центральной оптической оси ПОС. Отраженный зондируемой поверхностью сигнал собирается главным зеркалом. Вторичное зеркало ПОС направляет сфокусированный сигнал в СФП, расположенную за главным зеркалом (через отверстие в его центральной части).

Особенностью предлагаемой конструкции является использование отклоняющих зеркал (см. на рис. 6), обеспечивающих изменение направления пучков лазерного излучения, что позволяет разместить лазеры с коллиматорами за главным зеркалом, а не выносить их на боковую поверхность НП. Наличие выреза в верхней части главного зеркала обеспечивает прохождение пучков лазерного излучения после их поворота отклоняющими зеркалами.

Перспективы развития технологии. Представленный вариант конструкции позволяет минимизировать поперечные габариты ЦА «ЛИДАР-РОС» без выноса коллиматоров лазеров за габариты главного зеркала или без размещения поворотных зеркал на раскладывающихся штангах при минимальном сокращении используемой площади поверхности главного зеркала.

В составе лидаров космического базирования используют лазеры, обеспечивающие генерацию коротких импульсов большой мощности с малой угловой расходимостью пучка. Наибольшее распространение получили лазеры на иттрий-алюминиевом гранате с добавлением неодима (Nd:YAG). Основная длина волны излучения Nd:YAG-лазера $\lambda = 1064$ нм. Разработка методов удвоения и утроения частоты с помощью нелинейных кристаллов позволила получать излучение с длиной волны $\lambda = 532$ нм и $\lambda = 355$ нм.

В качестве основного варианта для ЦА «ЛИДАР-РОС» рассматривается лазер производства РФЯЦ–ВНИИТФ (рис. 7). Потребляемая этим лазером мощность составляет 400 Вт, масса вместе с коллиматором — 30 кг. В составе лазерной системы ЦА «ЛИДАР-РОС» для обеспечения требуемого ресурса и надежности предполагается использовать два лазера, причем в каждый момент времени работает только один («холодное» резервирование).

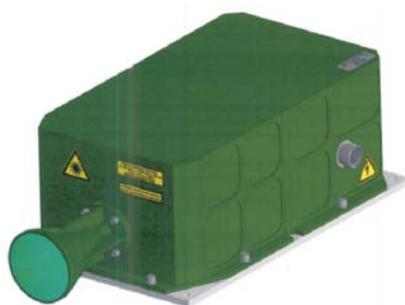


Рис. 7. Лазер, производимый ВНИИТФ

Для отвода теплоты от ЛС служат теплоизлучающие панели (см. рис. 5), состоящие из регулируемых тепловых труб. Теплоизлучающая поверхность панелей увеличена за счет металлических ребер с высокой теплопроводностью. Зоны испарения всех тепловых труб механически закреплены на теплоотводящей поверхности корпуса лазеров.

Оптическая двухзеркальная система, предлагаемая для ПОС, относится к предфокальным удлиняющим системам [15], которые отличаются компактностью — эквивалентное фокусное расстояние больше, чем расстояние между зеркалами. Фокальная плоскость такой системы расположена не между зеркалами, а за вершиной главного зеркала. Оптические системы Кассегрена и Ричи — Кретьена данного класса широко распространены, их можно использовать и в ЦА «ЛИДАР-РОС».

В качестве материала для изготовления зеркал предлагается использовать ситалл СО 115М (ОСТ 3-104–77). Он имеет очень малый

температурный коэффициент линейного расширения в рабочем диапазоне температур лидара, а также достаточно легко обрабатывается и широко применяется в оптической промышленности для изготовления зеркал [16]. Для того чтобы уменьшить массу главного и вторичного зеркал и сохранить их жесткость, предлагается использовать облегченную конструкцию, аналогичную показанной на рис. 8 [17].

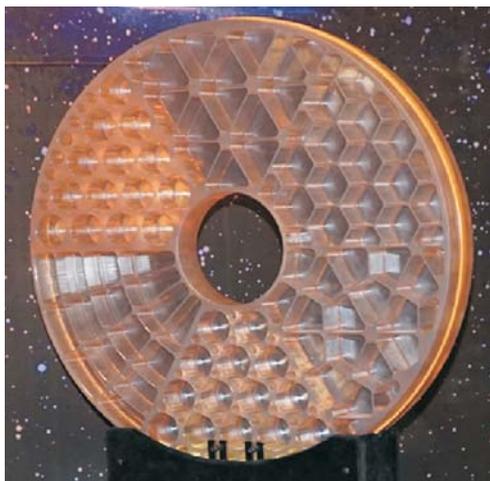


Рис. 8. Зеркало облегченной конструкции диаметром 0,8 м (на одном зеркале выполнены шесть секторов с разными вариантами облегчения конструкции)

Для преобразования мощности излучения в электрический сигнал в измерительных каналах 1 и 2 системы фотоэлектрического преобразования предлагается использовать ФЭУ с катодом GaAsP. В измерительном канале 3 предполагается применять лавинно-пролетный фотодиод. Все оптические и электронные компоненты СФП должны быть смонтированы в герметичном газонаполненном корпусе, имеющем окно для ввода оптического излучения. Корпус заполняется осушенным воздухом или азотом. Для лучшего выравнивания температуры внутри корпуса целесообразно осуществлять принудительную конвекцию с помощью вентилятора.

Лидар можно размещать на внешней поверхности либо базового модуля, либо целевых модулей РОС на одном из универсальных рабочих мест (УРМ-Н).

Основной вариант размещения — на двухосной поворотной платформе (ДПП), способной обеспечить требуемое направление главной оптической оси лидара в различных режимах ориентации станции и компенсировать ошибки ее поддержания. Вариант размещения ЦА «ЛИДАР-РОС» на ДПП на УРМ-Н базового модуля по плоскости IV приведен на рис. 9.

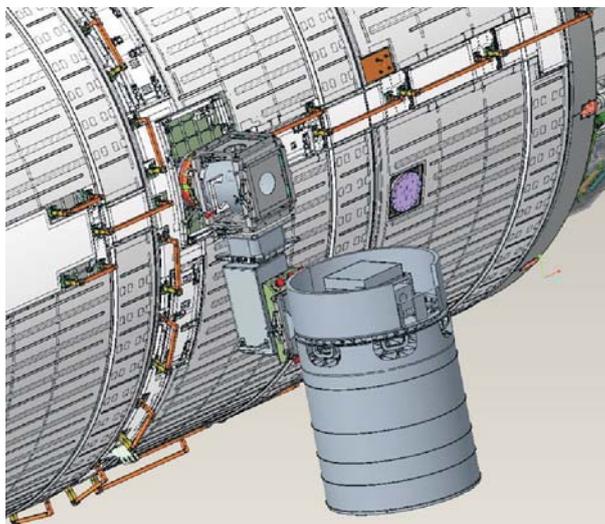


Рис. 9. Вариант размещения лидара на внешней поверхности базового модуля РОС

Перспективы развития лидарной технологии для РОС. На основе задела, созданного при разработке ЦА «ЛИДАР-РОС», могут быть разработаны лидары космического базирования для решения следующих актуальных задач ДЗЗ:

– измерение плотности аэрозоля спорадического происхождения, возникающего вследствие извержения вулканов, выносов пыли в пустынях, образования мощных тропических циклонов и др.;

– мониторинг лесов и биомассы растительности в целом, а также определение высоты древостоя (лесных массивов), что позволяет уточнить ареал распространения лесов, вычислять их параметры (фитомасса, запас древесины) и осуществлять мониторинг динамики лесного покрова (вырубки, лесовосстановительные мероприятия);

– определение на основе мониторинга растительности концентрации и распределения парниковых газов, прежде всего CO_2 , параметров биоразнообразия и качества среды обитания в экосистемах;

– реализация в ограниченном объеме возможностей подповерхностного и подводного зондирования на длине волны излучения 532 нм (зеленый лазер), имеющего существенную проникающую способность в водной среде.

Кроме того, на основе созданного задела могут быть разработаны лидары для применения в лунной программе, а также в программе изучения дальнего космоса.

Заключение. Рассмотрены состав, назначение, область применения, основные технические характеристики и особенности проектного облика ЦА «ЛИДАР-РОС». Показаны возможные пути развития лидарной технологии для Российской орбитальной станции. Одним из

приоритетных направлений работ в области дистанционного зондирования Земли на Российской орбитальной станции может стать изучение атмосферы и поверхности Земли с помощью лидаров. Для проведения глобального мониторинга аэрозольно-облачных полей атмосферы Земли и подстилающей поверхности с использованием многочастотного поляризационного лидара предложена целевая аппаратура «ЛИДАР-РОС».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Weitkamp C., ed. *LIDAR: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere*. Springer, 2005, 455 p. ISBN 0-387-40075-3
- [2] Lu L. et al. Opto-mechanical system structure and research progress of spaceborne lidar for cloud-aerosol. *Infrared and Laser Engineering*, 2020, vol. 49, no. 8, 18 p. DOI: 10.3788/IRLA20190501
- [3] Hancock S. et al. Requirements for a global lidar system: spaceborne lidar with wall-to-wall coverage. *R. Soc. Open Sci.*, 2021, vol. 8, paper 211166. DOI: 10.1098/rsos.211166
- [4] Fouladinejad F. et al. History and applications of space-borne lidars. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLII-4/W18. GeoSpatial Conference — Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 October 2019*, Karaj, Iran.
- [5] Карелин А.В., Хегай В.В. О возможности активного мониторинга малых газовых составляющих и парниковых газов из космоса посредством лидарного зондирования. *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*, 2025, т. 205, № 2, с. 21–26.
- [6] Карелин А.В., Хегай В.В. О целесообразности активного мониторинга атмосферных аэрозолей из космоса. *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*, 2025, т. 206, № 3, с. 21–27.
- [7] Final Report for Laser Altimeter, No. 73-17567. *NASA-CR-128738*. Radio Corp. of America, 1978, 100 p. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19730008840/downloads/19730008840.pdf>
- [8] Daukantas P. Lidars in space: from Apollo to the 21st Century. *OPN*, June 2009, pp. 30–35.
- [9] Winker D.M., Couch R.H., McCormick M.P. An Overview of LITE: NASA's Lidar In-Space Technology Experiment. *Proc. of IEEE*, 1996, vol. 84, no. 2, pp. 164–180.
- [10] Балин Ю.С., Тихомиров А.А. История создания и работы в составе орбитальной станции «Мир» первого российского космического лидара БАЛКАН. *Оптика атмосферы и океана*, 2011, т. 24, № 12, с. 1078–1087.
- [11] Pereira do Carmo J. et al. ATLID, ESA atmospheric backscatter LIDAR for the ESA EarthCARE mission. *CEAS Space Journal*, 2019, 13 p. DOI: 10.1007/s12567-019-00284-6
- [12] McGill M.J. et al. The Cloud-Aerosol Transport System (CATS): a technology demonstration on the International Space Station. *Lidar Remote Sensing for Environmental Monitoring XV*, 2015. DOI: 10.1117/12.2190841
- [13] Pauly R.M., Yorks J.E., Hlavka D.L., McGill M.J., Amiridis V., Palm S.P., et al. Cloud Aerosol Transport System (CATS) 1064 nm Calibration and Validation. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2019, vol. 12 (11), pp. 6241–6258. DOI: 10.5194/amt-12-6241-2019

- [14] Winker D. The on-orbit performance of the CALIOP lidar on CALIPSO. In: *International Conference on Space Optics — ICSSO, 2008, Proc. of SPIE*, vol. 10566, 105661H. DOI: 10.1117/12.2308248
- [15] Михельсон Н.Н. *Оптика астрономических телескопов и методы ее расчета*. Москва, Физматлит, 1995, 333 с. ISBN 5-02-014772-9
- [16] Абдулкадыров М.А., Игнатов А.Н., Патрикеев А.П., Семёнов А.П., Шаров Ю.А. Использование астроситалла в производстве астрономической и космической оптики. *Контейнер*, 2013, т. 12, № 1, с. 89–97.
- [17] *Glavkosmos*. Официальный сайт. URL: <https://trade.glavkosmos.com/ru/catalog/spacecraft/payload-components/earth-remote-sensing-observation/aspherical-light-weighted-mirrors>, свободный (дата обращения: 31.03.2025).

Статья поступила в редакцию 28.04.2025

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Евдокимов Р.А., Грибков А.С., Конев С.В., Мацак И.С., Тугаенко В.Ю. Перспективы применения лидаров на Российской орбитальной станции. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, вып. 11. EDN KOVPRE

Евдокимов Роман Александрович — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва». Специалист в области проектирования и конструкции космических аппаратов, системного анализа. e-mail: evdokimovrom@yandex.ru; Roman.Evdokimov@rsce.ru

Грибков Александр Сергеевич — ведущий инженер-программист публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва». Специалист в области проектирования и конструкции космических аппаратов. e-mail: alexander.gribkov@rsce.ru

Конев Станислав Владимирович — заместитель главного конструктора РОС — руководитель научно-технического центра публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва». Специалист в области проектирования и конструкции космических аппаратов. e-mail: stanislav.konev@rsce.ru

Мацак Иван Сергеевич — канд. техн. наук, начальник сектора публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва». Специалист в области проектирования и конструкции космических аппаратов. e-mail: ivan.macak@rsce.ru

Тугаенко Вячеслав Юрьевич — д-р техн. наук, главный специалист публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва». Специалист в области проектирования и конструкции космических аппаратов. e-mail: Vjatcheslav.Tugaenko@rsce.ru

Prospects for lidars applications at the Russian Space Station

© R.A. Evdokimov, A.S. Gribkov, S.V. Konev,
I.S. Matsak, V.Yu. Tugaenko

PAO S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia,
Korolyov, Moscow Region, 141070, Russian Federation

The paper considers possibility and expediency of using a multi-frequency polarizing lidar with a large aperture of the receiving optical system's main mirror for monitoring the atmosphere and the Earth's surface on board the Russian Orbital Station (ROS). ROS should become a unique platform for the placement of scientific and target equipment requiring a high level of power supply. It was designed, among other things, for remote sensing of the Earth. Lidars for studying clouds, as well as the underlying surface, belong to such equipment. The scope and tasks of LIDAR-ROS target equipment, proposed at the stage of preliminary design of the station, are considered. The composition, some design and operational features, the main technical characteristics, and the design appearance of the LIDAR-ROS target equipment are described. Possible prospects for the development of lidar technology for ROS are considered.

Keywords: Russian Space Station, Earth remote sensing, solar synchronous orbit, laser technologies, multi-frequency polarizing lidar, aerosol cloud fields

REFERENCES

- [1] Weitkamp C., ed. *LIDAR: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere*. Springer, 2005, 455 p. ISBN 0-387-40075-3.
- [2] Lu L. et al. Opto-mechanical system structure and research progress of spaceborne lidar for cloud-aerosol. *Infrared and Laser Engineering*, 2020, vol. 49, no. 8, 18 p. DOI: 10.3788/IRLA20190501
- [3] Hancock S. et al. Requirements for a global lidar system: spaceborne lidar with wall-to-wall coverage. *R. Soc. Open Sci.*, 2021, vol. 8, paper 211166. DOI: 10.1098/rsos.211166
- [4] Fouladinejad F. et al. History and applications of space-borne lidars. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLII-4/W18. GeoSpatial Conference — Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 October 2019*, Karaj, Iran.
- [5] Karelin A.V., Khagai V.V. On possibility of real-time monitoring of trace gas and greenhouse gases from the space by lidar sensing. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIEM — Electromechanical matters. VNIEM studies*, 2025, vol. 205, no. 2, pp. 21–26.
- [6] Karelin A.V., Khagai V.V. On the feasibility of active monitoring of atmospheric aerosols from space. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIEM — Electromechanical matters. VNIEM studies*, 2025, vol. 206, no. 3, pp. 21–27.
- [7] Final Report for Laser Altimeter. No. 73-17567. *NASA-CR-128738*. Radio Corp. of America, 1978, 100 p. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19730008840/downloads/19730008840.pdf>
- [8] Daukantas P. Lidars in space: from Apollo to the 21st Century. *OPN*, June 2009, pp. 30–35.
- [9] Winker D.M., Couch R.H., McCormick M.P. An Overview of LITE: NASA's Lidar In-Space Technology Experiment. *Proc. of IEEE*, 1996, vol. 84, no. 2, pp. 164–180.

- [10] Balin Yu.S., Tikhomirov A.A. The history of development and operation of the first Russian space lidar BALKAN integrated into Mir space station. *Optics of the atmosphere and ocean*, 2011, vol. 24, no. 12, pp. 1078–1087.
- [11] Pereira do Carmo J. et al. ATLID, ESA atmospheric backscatter LIDAR for the ESA EarthCARE mission. *CEAS Space Journal*, 2019, 13 p.
DOI: 10.1007/s12567-019-00284-6
- [12] McGill M.J. et al. The Cloud-Aerosol Transport System (CATS): a technology demonstration on the International Space Station. *Lidar Remote Sensing for Environmental Monitoring XV*, 2015. DOI: 10.1117/12.2190841
- [13] Pauly R. et al. Cloud Aerosol Transport System (CATS) 1064 nm Calibration and Validation. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2019, vol. 12 (11), pp. 6241–6258. DOI: 10.5194/amt-12-6241-2019
- [14] Winker D. The on-orbit performance of the CALIOP lidar on CALIPSO. *International Conference on Space Optics — ICSSO, 2008, Proc. of SPIE*, vol. 10566, 105661H. DOI: 10.1117/12.2308248
- [15] Mikhelson N.N. *Optics of astronomical telescopes and methods of its calculation*. Moscow, Fizmatlit Publ., 1995, 333 p. ISBN 5-02-014772-9. (In Russ.)
- [16] Abdulkadyrov M.A., Ignatov A.N., Patrikeev A.P., Semenov A.P., Sharov Yu.A. The use of astrosital in the production of astronomical and space optics. *Kontenant*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 89–97.
- [17] *Glavkosmos*. Available at: <https://trade.glavkosmos.com/ru/catalog/spacecraft/payload-components/earth-remote-sensing-observation/aspherical-light-weighted-mirrors>, Open Access (accessed March 31, 2025).

Evdokimov R.A., Dr. Sc. (Eng.), Leading researcher, Public Joint-Stock Company S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: Roman.Evdokimov@rsce.ru

Gribkov A.S., Leading engineer-programmer, Public Joint-Stock Company S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: alexander.gribkov@rsce.ru

Konev S.V., Deputy Chief Designer of the Russian Space Station and Head of Scientific and Technical Center, Public Joint-Stock Company S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: stanislav.konev@rsce.ru

Matsak I.S., Cand. Sc. (Eng.), Head of the sector, Public Joint-Stock Company S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: ivan.macak@rsce.ru

Tugaenko V.Yu., Dr. Sc. (Eng.), main specialist, Public Joint-Stock Company S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: Vjatcheslav.Tugaenko@rsce.ru