

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-82030

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,
С. Л. МИШЕНКОВ

Выпускающий редактор: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ГЛИБИНА

Адрес редакции: 129090, Москва, Протопоповский пер., 25, к. Б

Тел.: (495) 607-31-18.

E-mail: ref@radio.ru

Приём статей — e-mail: mail@radio.ru

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 607-31-18; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-87-39

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:

получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140,
р/сч. 40703810538090108833

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва

корр. счёт 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 24.12.2025 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале «Радио», на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2026. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 03159-25 .

Dr.Web  Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».

www.drweb.com
Бесплатный номер службы поддержки в России:
8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»

▶ RINET ▶
БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ

Телефон: +7(495)981-4571
E-mail: info@rinet.ru
Сайт: www.rinet.ru

5G в стратосфере

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"У нас как?

*— Сегодня в голове,
завтра в чертежах,
послезавтра в металл,
а потом и в полёте".*

Сергей Королев

Кажется, мы дождались. И наземные сети 5G будут поддерживать высотные дирижабли и беспилотные летательные аппараты, а когда-нибудь могут летать с ними в рамках единой инфраструктуры.

28 мая 2024 г. японские исследователи объявили об успешном тестировании телекоммуникационного оборудования 5G, работающего в Q-диапазоне на частоте 38 ГГц и поднятого на 4 км над поверхностью Земли. Эксперимент был направлен на разработку воздушной ретрансляционной транспортной сети с линиями миллиметрового диапазона волн между наземными станциями и имитацией высотной платформенной станции (HAPS — High-Altitude Platform Station) на борту беспилотного самолёта. В общем, самолёт Cessna, вылетевший с аэродрома Тёфу в западной части Токио, был оснащён базовой станцией 5G, работающей на частоте 38 ГГц, а три наземные станции были оснащены фазированными антенными решётками с изменяемой диаграммой направленности. Эксперимент, проведённый консорциумом японских компаний и Национальным институтом информационных и коммуникационных технологий, прошёл удачно, и все три базовые станции "видели" самолёт и обеспечивали устойчивую связь.

"Мы подтвердили, что бортовая система, разработанная для стратосферы, обладает адекватными характеристиками связи и слежения даже при колебаниях скорости полёта и ориентации самолёта Cessna, которые более серьёзные, чем у HAPS", — сказал Шиничи Танака, менеджер космического бизнес-подразделения SKY Perfect JSAT.

Самый узкий луч антенны наземной станции составляет 0,8 градуса, и испытание продемонстрировало работу метода слежения, который всегда захватывает Cessna при таком луче.

Диапазоны миллиметровых волн, такие как диапазон 38 ГГц, имеют самую высокую пропускную способность для сетей 5G и подходят для многолюдных мест, таких как стадионы и торговые центры. Однако при использовании на открытом воздухе сигналы могут ослабляться дождём и просто повышенной влажностью воздуха. Чтобы противостоять этому, консорциум успешно протестировал алгоритм, который автоматически перекладывает несколько наземных станций для компенсации ослабленных влажностью сигналов.

В отличие от неудачной попытки Google Loon, которая была сосредоточена на обеспечении

прямой связи с пользовательскими терминалами, испытание HAPS направлено на создание транзитных линий для базовых станций. Эксперимент, проводимый под руководством Министерства внутренних дел и коммуникаций Японии, предназначен для обеспечения высокоскоростной связи с высокой пропускной способностью как для развития сетей 5G и 6G, так и для реагирования на чрезвычайные ситуации. Последнее имеет решающее значение в подверженной стихийным бедствиям Японии — в январе 2024 г. линии связи вокруг полуострова Ното в Японском море были разорваны после землетрясения магнитудой более 7 баллов, в результате которого погибло более 1500 человек.

"Это первый в мире успешный эксперимент по связи 5G через небо с использованием частоты Q-диапазона", — сказала Хината Кохара, исследователь из отдела инноваций в сетях 6G мобильного оператора NTT Docomo. Кроме того, использование базовых станций связи 5G и оборудования базовой сети на самолёте для связи между несколькими наземными станциями обеспечивает гибкое и быстрое переключение маршрутов наземной станции для фидерной линии и устойчиво к таким характеристикам распространения, как осадки. Ещё одной ключевой особенностью является применение полностью цифрового метода для формирования управления лучом, который использует несколько независимых лучей для повышения эффективности использования частоты.

Компенсация доплеровского сдвига частоты была проблемой в эксперименте, сказал Кохара, добавив, что исследователи проведут дальнейшие тесты, чтобы найти решение с целью коммерциализации услуги HAPS в 2026 г. Помимо SKY Perfect JSAT и NTT Docomo, в консорциум входит Panasonic Holdings, известная своим электронным оборудованием.

NTT Docomo объявила о том, что возглавила ещё один консорциум по инвестициям в размере 100 млн долл. в компанию Airbus AALTO HAPS, оператора беспилотного летательного аппарата Zephyr. Крыло с солнечными батареями может быть использовано для прямой связи 5G с устройством или наблюдения за Землёй и установило рекорды, включая 64 дня стратосферного полёта. По словам Airbus, он имеет доступ к 250 наземным башням в труднопроходимой гористой местности. Докомо сказал, что инвестиции направлены на коммерциализацию услуг Zephyr в Японии, включая

охват сельских районов и зон стихийных бедствий, а также во всём мире в 2026 г.

HAPS не является какой-то новой концепцией, потому что исследование Международного союза электросвязи (МСЭ) по HAPS началось ещё в середине 1990-х годов, но, правда, представлялись больше как фантастика. Кстат, если бы МСЭ не проявлял интереса к HAPS, они так бы и остались фантастикой. Но в последнее время HAPS демонстрирует большую жизнеспособность благодаря технологическим достижениям в области эффективности солнечных батарей, плотности энергии аккумуляторов, лёгких композитных материалов, автономной авионики и антенн. Остаётся добавить, что проекты систем HAPS уже встречались в разные годы на страницах журнала ("Надувные "спутники связи" и "Надувные "спутники связи": двадцать лет спустя"), но только сейчас наступает время их реализации.

Несмотря на то, что более половины населения мира уже подключено к Интернету и вокруг планеты движутся тысячи низкоорбитальных спутников, в сельских и отдалённых районах с недостаточным уровнем обслуживания всё ещё требуются более значительные широкополосные возможности для подключения услуг электросвязи. Короче, в мире есть миллиард человек, которые не имеют достаточной связи, будь то временно, из-за урагана, или просто из-за места их проживания. В свою очередь, HAPS могут использоваться для обеспечения как фиксированной широкополосной связи для конечных пользователей, так и линий передачи между мобильными и опорными сетями, используемыми для транзитного трафика. Оба типа приложений HAPS позволят развёртывать беспроводную широкополосную связь, в том числе в отдалённых, горных, прибрежных и пустынных районах.

HAPS может быть быстро развёрнута для организации связи после стихийных бедствий. Использование линий связи HAPS позволяет предоставлять услуги с минимальной инфраструктурой наземной сети, например, для резервного копирования наземных сетей, повреждённых в результате стихийных бедствий.

Недавние тестовые развёртывания, обеспечивающие широкополосный доступ в Интернет с помощью HAPS, расположенных на высоте около 20 км над землёй, продемонстрировали их способность обеспечивать связь для отдалённых или недостаточно обслуживаемых районов. В некоторых странах проводятся испытания HAPS, чтобы проде-

монстрировать их потенциал. Тем не менее, системы HAPS по-прежнему сталкиваются с некоторыми проблемами, пытаясь стать коммерчески жизнеспособным вариантом для обеспечения глобальной широкополосной связи.

Регламент радиосвязи (PP) МСЭ определяет HAPS как радиостанции, расположенные на объекте на высоте 20...50 км и в определённой фиксированной точке относительно Земли.

Согласно оценкам некоторых недавних исследований МСЭ-R (сектор радиосвязи МСЭ), общие потребности в спектре в фиксированной службе для систем HAPS находятся в диапазоне от 396 МГц до 2969 МГц для линий связи между землёй и платформой HAPS и в диапазоне от 324 МГц до 1505 МГц для линий HAPS платформа-земля. Эти диапазоны включают спектр, необходимый для охвата конкретных приложений (например, миссий по оказанию помощи при стихийных бедствиях) и для установления соединений (например, коммерческая широкополосная связь).

Первые полосы частот фиксированной службы, разрешённые для HAPS, были определены во всём мире в PP в 1997 г. С тех пор PP были обновлены с целью определения дополнительных полос частот фиксированной службы на региональном уровне, а также в конкретных странах, где может функционировать HAPS. При определении полос, подходящих для HAPS, в основном учитывались опасения по поводу потери мощности сигнала из-за его затухания в дожде в верхних полосах частот. Эти ранние определения HAPS были созданы без предположения, что они должны будут поддерживать современные широкополосные приложения.

На трёх всемирных конференциях радиосвязи (ВКР-97, ВКР-2000 и ВКР-12) был определён спектр фиксированной службы для HAPS в полосах частот 47/48 ГГц, 2 ГГц, 27/31 ГГц и 6 ГГц, соответственно. Хотя частотный ресурс для систем HAPS был первоначально создан некоторое время назад, он не использовался из-за незрелости технических решений.

До ВКР-19 проведённые исследования МСЭ-R показали, что потребности в спектре для широкополосных приложений HAPS, возможно, не были полностью удовлетворены в тех полосах, где было разрешено их использование. Кроме того, некоторые из разрешённых полос частот имели географические ограничения, а исследования показали, что было бы желательно определить во всём мире полосы



частот, в которых могла бы быть разрешена HAPS для улучшения и гармонизации их использования.

В связи с этим на ВКР-19 члены МСЭ определили дополнительные полосы радиочастот, в которых системы HAPS могут работать в определенных технических условиях. В частности, ВКР-19 приняла решение о том, что полосы частот 31...31,3 ГГц и 38...39,5 ГГц должны быть определены как разрешенные для использования HAPS во всем мире. Также было подтверждено, что полосы частот 47,2...47,5 ГГц и 47,9...48,2 ГГц доступны для использования во всем мире административными, желающими внедрить HAPS. На ВКР-19 принято решение о том, что полосы частот 21,4...22 ГГц и 24,25...27,5 ГГц могут использоваться HAPS в фиксированной службе. ВКР-19 также согласилась с ограничениями в отношении направленных линий связи и включением технических условий эксплуатации систем HAPS для защиты других служб.

Повестка дня ВКР-23 включала исследование возможных новых определений для использования HAPS в качестве базовых станций Международной подвижной электросвязи (ИМТ) (HIBS — High altitude platform station as IMT Base Station) в составе сетей. Технология HAPS предлагает новую платформу для обеспечения мобильного широкополосного доступа с минимальной инфраструктурой с использованием тех же частот и пользовательских устройств, что и наземные сети мобильной связи.

До недавнего времени высотные платформы полагались, в первую очередь, на спектр миллиметровых волн, включая полосу частот 47...48 ГГц. Миллиметровые волны, однако, имеют ограниченный радиус действия и, как известно, уязвимы к неблагоприятным погодным условиям. В 2023 г. МСЭ-R выделил для стратосферных платформ частотный диапазон от 700 МГц до 2,6 ГГц, что, как видно, на порядок ниже, чем было ранее. Установлены также ограничения мощности, правила координации и распределения гармонизированных полос радиочастот, чтобы не создавать помехи существующим радиослужбам.

Доступность гармонизированного низкочастотного спектра для прямой передачи данных на устройство HAPS коренным образом изменила бизнес-кейс подобных проектов. Сразу же возник дополнительный интерес к развёртыванию HAPS, потому что появилась возможность для обычных смартфонов напрямую подключаться к новым высотным базовым станциям. По сути,

изменились правила игры на зарождающемся рынке. То есть только-только реализуемые в настоящее время проекты по организации связи с обычных смартфонов через низкоорбитальные спутники получили серьёзного конкурента.

Вот так, одобрив использование спектра для HAPS, члены МСЭ предоставили ещё одну коммуникационную платформу для подключения тех, кто не подключён.

С учётом сказанного выше, начиная с 2026 г. японский телекоммуникационный гигант, компания SoftBank Corp., будет транслировать широкополосную связь 4G/5G через стратосферу для японских конечных пользователей. Парящая на высоте 20 км над Землёй, где практически отсутствуют сильные ветры, платформа компании на базе дирижабля будет использовать технологию регенерации энергии для обеспечения электропитания. Работать она будет в том самом недавно распределённом спектре для HAPS. И эта технология в конечном итоге может представлять реальную конкурентную угрозу для спутниковых платформ, таких как Starlink.

При этом SoftBank Corp. объявила, что получила эксклюзивные права на развёртывание стратосферных летательных аппаратов легче воздуха над Японией. Высотная платформа обеспечивает прямое подключение обычных смартфонов и обещает вдвое меньшие задержки связи (20 мс против 45 мс) по сравнению со спутниковой системой Starlink. Эксплуатация стратосферных платформ обойдётся дешевле и, по мнению компании, найдёт своего потребителя.

Дирижабль с солнечными батареями, разработанный компанией Sceye из Мориарти (штат Нью-Мексико), который упоминался на страницах журнала, уже совершил более 20 успешных испытательных полётов. В том же заявлении для прессы SoftBank Corp. также рассказала о своих планах по использованию беспилотных летательных аппаратов тяжелее воздуха, которые разработала японская компания.

В отличие от ретрансляторов сигнала, дирижабль Sceye фактически будет автономно пилотируемой мачтой сотовой связи, работающей ещё не в космосе, но над основной погодной нестабильностью атмосферы. Дирижабль будет нести тот же тип базовой станции, который используется в наземных сетях мобильной связи (4G eNodeB/5G gNodeB), который будет соответствовать стандартам 3GPP.

В отличие от более ранних проектов HAPS, которые работа-

ли в качестве ретрансляторов сигнала, дирижабли Sceye в конечном итоге позволят пользователям пересекать зоны покрытия без потери обслуживания благодаря передаче управления (handover) между наземными и воздушными базовыми станциями. И это может выглядеть и ощущаться конечным пользователем так же, как обычная работа в сетях 4G и 5G (т. е., иными словами, никак не ощущаться).

На дирижабле Sceye используются передовые антенные системы, которые обеспечивают прецизионное управление диаграммой. Эта технология 5G, также известная как Beamforming (формирование луча), в зависимости от спроса помогает либо охватывать связью обширные территории или, наоборот, сужать диаграмму направленности (вместе со всей пропускной способностью) до более узкого конуса.

Собственно, существует три основных типа формирования луча: аналоговое, цифровое и гибридное. Аналоговое формирование луча обычно используется в простых беспроводных системах, в то время как цифровое формирование луча чаще используется в современных системах связи. Гибридное формирование луча часто используется в системах связи миллиметрового диапазона. Цифровое формирование луча (работающее на Sceye) использует набор антенных решёток для передачи и приёма сигналов, причём каждой антенной решёткой можно управлять независимо, что позволяет более точно манипулировать излучаемым сигналом.

С грузоподъёмностью 250 кг и генерируемой мощностью 10 кВт от солнечной энергии дирижабль Sceye может не только питать свой телекоммуникационный комплекс, но и зафиксировать станцию в конкретной точке пространства, на что неспособны ни воздушные шары (которые дрейфуют вместе с ветром), ни беспилотные летательные аппараты.

Кстати, о воздушных шарах. Родившаяся в недрах корпорации Google и реализованная в 2011 г. попытка создать провайдер доступа в Интернет с помощью высотных воздушных шаров (стратостатов) в рамках проекта Project Loon несколько лет назад потерпела фиаско. А началось всё хорошо. Представьте, что стратосферные воздушные шары парят на высоте около 20 км над землёй. У них есть солнечные панели, антенны и системы навигации. Перемещаются шары с помощью ветровых потоков в стратосфере, и их можно направлять в нужные регионы. Ну и главное — они служат точками доступа к беспроводной сети.

Официально проект был запущен в июне 2013 г., когда корпорация отправила в стратосферу 30 тестовых шаров в Новой Зеландии. Один шар обеспечивал покрытие на площади до 5000 км² (позже до 11000 км² с улучшенными бортовыми системами).

В последующие годы проект расширился, и в 2017 г. Loon предоставил экстренную связь в Пуэрто-Рико после урагана "Мария", а в 2020 г. запустил коммерческую услугу 4G LTE в Кении совместно с Telkom Kenya, охватив территорию площадью 50000 км².

Технологии совершенствовались, проект развивался. Сначала шары могли находиться в воздухе только несколько дней, но к 2015 г. срок их службы увеличился до 100 дней. Рекорд же поставили в 2020 г., тогда шар продержался в атмосфере 312 суток. За всё время существования флота Loon шары налетали более миллиона часов в стратосфере, совершив почти 2100 полётов.

В июле 2018 г. Loon выделили в самостоятельную компанию в составе Alphabet (основной инвестор проекта). По оценкам экспертов, проект ежегодно тратил около 100 млн долл., включая финансирование от Alphabet и внешних партнёров, таких как SoftBank.

В январе 2021 г. Alphabet объявила о закрытии Loon. Основная причина — проект невозможно сделать коммерчески жизнеспособным. Операционные расходы проекта, включая производство шаров, их запуск и обслуживание, превышали доходы, которые Loon мог бы получать от предоставления услуг Интернета в бедных и отдалённых регионах. Ведь часто пользователи не могли себе позволить даже минимальные тарифы. К тому же стал стремительно развиваться мобильный Интернет, и это тоже сильно ударило по проекту. А тут ещё Илон Маск предложил доступную спутниковую связь, полноценный запуск сервиса состоялся в 2020 г. Несмотря на красивую идею, разработки и достижения, Project Loon просто потерял актуальность.

Хотя Loon прекратил существование, его технологическое наследие не пропало даром. Часть разработок, например высокоскоростные оптические коммуникационные системы (20 Гбит/с), легла в основу новой инициативы — Taara. Это детище той же лаборатории, что породила Loon. После закрытия Loon часть инженеров и исследователей перешла в этот проект, сохранив накопленный опыт. Этот проект использует не шары, а лазерные лучи для передачи данных между наземными станциями. Его цель — предоставить доступ к Интернету там, где про-

кладка оптоволоконна слишком дорога или невозможна.

Taara применяет технологию беспроводной оптической связи (FSO — Free Space Optics), которая передаёт данные на расстоянии до 20 км со скоростью до 20 Гбит/с. В её основе — узконаправленные лазерные лучи высокой точности. В отличие от радиоволн, которые применяются в традиционных беспроводных сетях, FSO использует свет в ближнем инфракрасном диапазоне. Тем самым обеспечивается высокая пропускная способность и снижается уровень помех.

Решение дешевле и проще в развёртывании, чем традиционные кабели. Чтобы установить станции Taara, не нужны масштабные земляные работы, прокладка километров оптоволоконна или строительство сложных вышек. Достаточно разместить компактные приёмопередатчики на возвышенностях, например, на крышах зданий или небольших мачтах, и обеспечить между ними прямую видимость.

Особенно это важно для регионов с пересечённой местностью, где прокладка кабелей может занять годы и обойтись в миллионы долларов. В отличие от Loon, где требовалась поддерживать сложную инфраструктуру в воздухе — стратосферные шары, зависящие от ветров и погодных условий, — Taara полагается на наземные станции, а это снижает эксплуатационные расходы и упрощает обслуживание. К тому же технология не зависит от лицензирования радиочастотного спектра, а значит, можно уменьшить бюрократические барьеры и быстрее её внедрить.

В Кении Taara помогает подключать регионы, где прокладка оптоволоконна нерентабельна из-за сложного рельефа или низкой плотности населения. Ну а за спутниковую связь жители многих регионов платить просто не в состоянии, слишком дорого. В целом Project Loon был смелым экспериментом, который доказал, что Интернет можно доставлять в самые отдалённые уголки планеты с помощью стратостатов.

Возвращаясь к проекту HAPS от SoftBank Corp., отметим технологические достижения Sceye в области материалов, которые имеют решающее значение для высотных полётов на длительность и выносливость. По данным компании, ткань, из которой изготовлен корпус дирижабля, в пять раз прочнее на единицу массы по сравнению с материалами обычных систем HAPS. Этот материал имеет в 1500 раз большую газонепроницаемость, а также более устойчив к ультрафиолетовому

излучению, так и к озону. Однако использование даже такого суперматериала для обшивки дирижабля, его нахождение в воздухе на высоте 20 км требует дальнейших инноваций в сторону большей эффективности. В SoftBank Corp. не скрывают, что дирижабли, как платформа, ещё далеки от совершенства. Обычно на устройствах подобного типа около 30 % массы идёт на конструкцию, а ещё 30 % — на энергетическую систему. Совершенствование этих технологий предоставит дополнительное конкурентное преимущество.

Серебристые дирижабли Sceye рассчитаны на особую выносливость, способны взаимодействовать с ветром для предотвращения его воздействия и оставаться в зоне эксплуатации в течение нескольких месяцев. Сверхлёгкие и гибкие солнечные панели-оболочки и аккумуляторные батареи высокой ёмкости обеспечивают работу оборудования в ночное время. В то время как отсек полезной нагрузки, защищённый от температурных воздействий и ультрафиолета, может выдерживать экстремальные условия, имеющие место в стратосфере. Заявлено, что дирижабль может достичь высоты 20 км менее чем за 30 мин, причём один такой воздушный корабль способен заменить до 25 наземных базовых станций.

На сегодняшний день SoftBank Corp. всё ещё взвешивает, как лучше всего развернуть стратосферные платформы Sceye, будь то в качестве постоянно работающей инфраструктуры в составе наземной сети связи или в качестве средств экстренного реагирования по требованию во время чрезвычайных ситуаций и других периодов ожидаемого высокого спроса. Возможны оба сценария, как непрерывный полёт или запуск в ответ на катастрофу. А эксплуатационные параметры будут окончательно доработаны после предкоммерческих испытаний в 2026 г. с учётом экономической эффективности и решения таких дополнительных задач, как дистанционное зондирование. Впрочем, какую бы форму в конечном итоге ни приняло указанное выше развёртывание, оно знаменует собой важный шаг вперёд в развитии проектов HAPS.

По материалам

<https://clck.ru/3NWLpM>,
<https://clck.ru/3NWLtQ>,
<https://clck.ru/3NWLz9>,
<https://clck.ru/3NWM41>