

Высотные телекоммуникационные платформы

Краткий обзор технологий и концепция
аэродинамических привязных высотных платформ
для систем мобильного широкополосного доступа.

ООО «Гиронавтика»
Россия, Санкт-Петербург
5.02.2019

Оглавление

Проблема «цифрового разрыва»	.	.	.	2
Спутниковые системы связи	.	.	.	5
Атмосферные высотные платформы	.	.	.	6
Привязные платформы	.	.	.	8
Аэростатические привязные платформы	.	.	.	8
Аэродинамические привязные платформы	.	.	.	9
Воздушное колесо	.	.	.	13
Гиропланер	.	.	.	15
Инерциальный вертикальный взлёт	.	.	.	19
Юридический вопрос	.	.	.	20
Высотная ветроэнергетика	.	.	.	21
Энергетика связи и экология	.	.	.	25
Высокая чистая связь	.	.	.	27

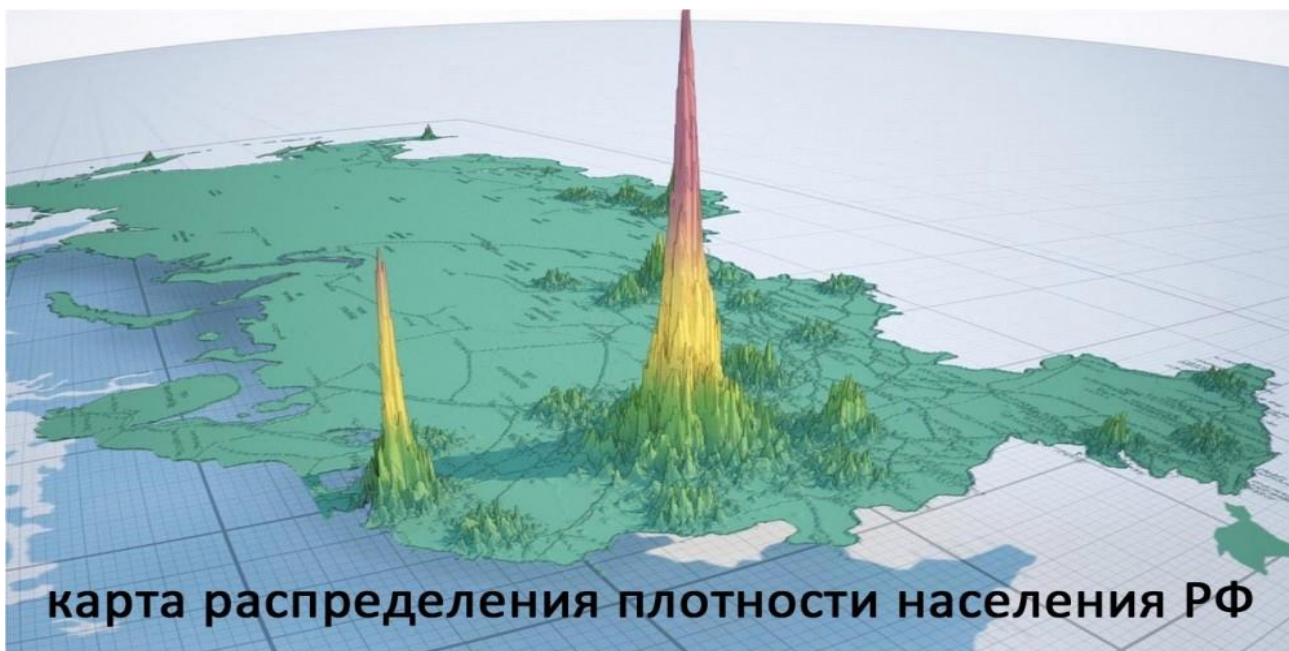
Проблема «цифрового разрыва»

Современные технологии связи смогли дать доступ в интернет лишь половине человечества на 10% поверхности Земли. Факторы, сдерживающие развитие и обостряющие цифровое неравенство: высокая стоимость связи при низкой плотности абонентов, отсутствие доступа к магистральным каналам связи и источникам энергии. Ни одна из существующих технологий не способна самостоятельно решить задачу полного покрытия территории России **мобильным широкополосным доступом (МШПД)**.

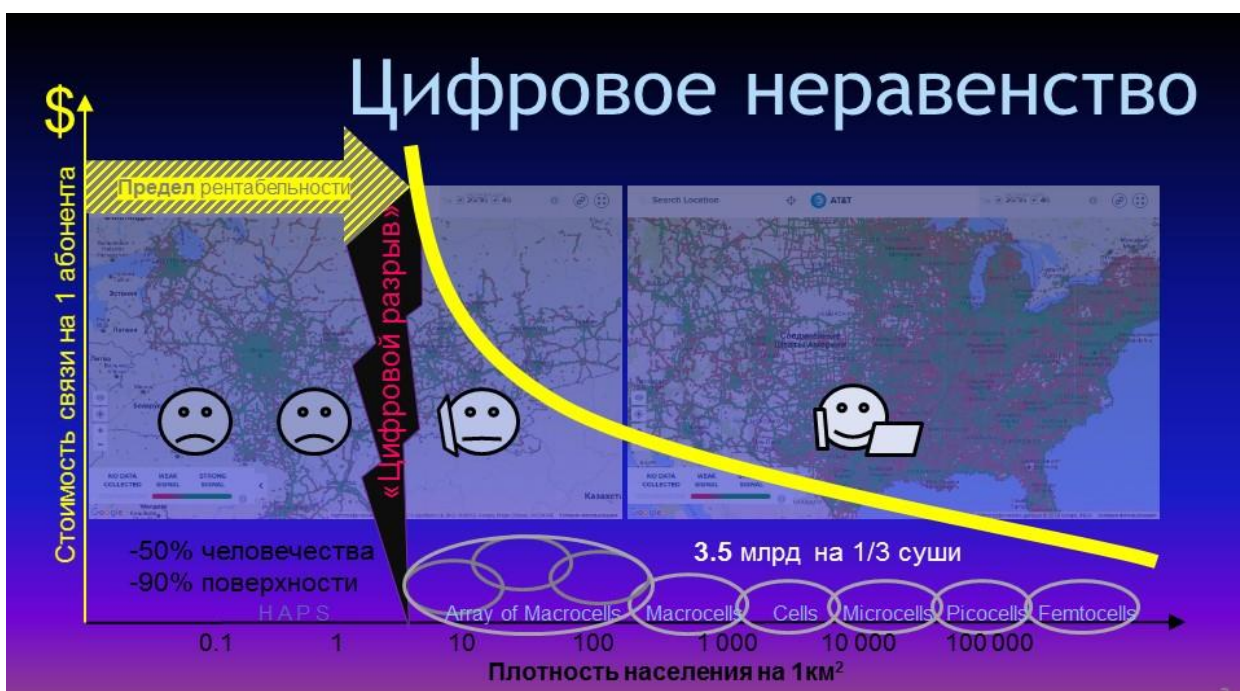
Все города России имеют полное покрытие сетями мобильной связи 3G, 4G, уже планируются сети 5G. Развитая инфраструктура для установки базовых станций на зданиях даёт возможность подключения к городским электросетям и проводным линиям связи. В Москве и МО плотность размещения базовых станций уже более 546 на квадратный километр. Процесс повышения плотности покрытия продолжается, в местах с высокой плотностью абонентов актуальны системы маломощных базовых станций (small cells) микросот, пикосот, фемтосот.

За пределами городов покрытие поселений малоэтажной застройки сетями мобильной связи происходит со стационарных наземных телекоммуникационных вышек. С падением плотности абонентов растут размеры сот, растёт мощность передатчиков, увеличивается необходимая высота вышек связи, растут расстояния и стоимость прокладки кабельных линий связи и электроснабжения. Себестоимость связи резко растёт, платёжеспособный спрос снижается. Системы сотовой связи с телекоммуникационных вышек имеют пределы роста и рентабельности в зависимости от плотности населения и состояния инфраструктуры. Вот тут и возникает «цифровой разрыв», удача - если удаётся совершить голосовой звонок, о мобильном интернете мечтать уже не приходится.

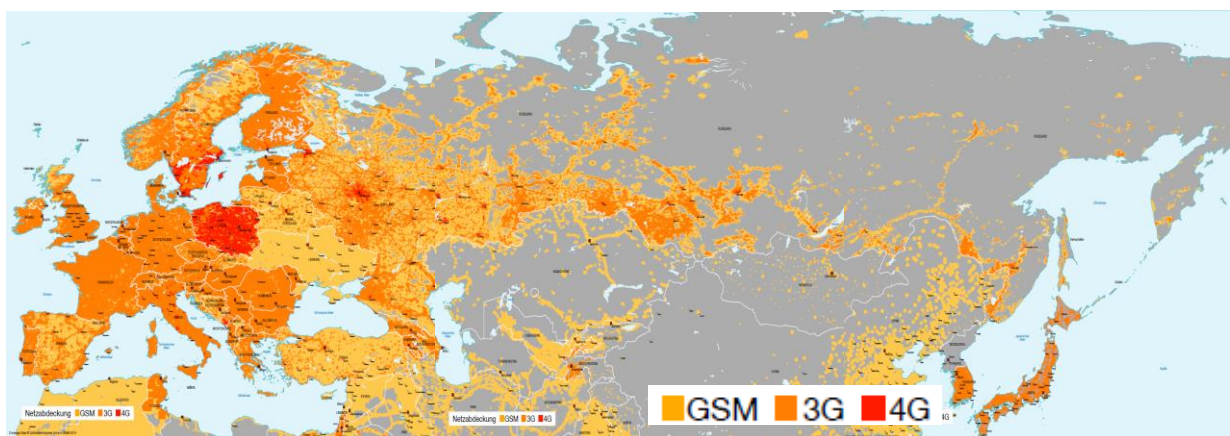
Две трети территории России имеют плотность населения мене 3 чел/км², вдали от линий связи и надёжного электроснабжения. 6725 населённых пунктов не могут быть подключены к Сети. Более того, в России есть населённые пункты, в которых отсутствует даже голосовая сотовая связь — это 1343 малых посёлков и деревень. Жители Дальнего Востока платят за доступ в Интернет примерно в 14 раз больше, чем москвичи.



Всё население России по федеральной программе должно получить возможность доступа к единой информационной сети. Стоимость решения этой важнейшей и сложной задачи оценена в 67,5 миллиардов рублей. Федеральный закон «О связи» 2003г. ставил целью обеспечение стационарной телефонной связью, редакция 2014г. предусматривает прокладку волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) до «центров коллективного доступа» в часовой доступности для населенных пунктов с численностью от 250 до 500 жителей. Программа значительно приблизит интернет к населению, но **проблема последней мили** останется нерешённой. Нет уверенности, что так будет устранён «цифровой разрыв» и обостряющееся «цифровое неравенство».



Без доступной надёжной связи большая часть территории России технологически исключена из полноценной хозяйственной деятельности, внутри страны существует и всё более обостряется проблема цифрового неравенства регионов. В современной экономике, опирающейся на информационные технологии, данная проблема неизбежно влечёт тяжёлые социальные, экономические и макроэкономические последствия.



Для покрытия территории России мобильной широкополосной связью, освоения обширных территорий Арктики, Сибири и Дальнего Востока, необходимо экономически эффективно решить минимум две технически сложные проблемы:

- Высоко поднять базовые станции мобильной связи;
- Дать надёжное энергоснабжение телекоммуникационной аппаратуре.

Проблему полного покрытия России, построения единого национального информационного пространства можно эффективно решить только с помощью **энергетически автономных высотных телекоммуникационных платформ**. Высотные платформы (HAPs) можно классифицировать по принципу полёта на **аэростатические, аэродинамические и баллистические** (инерциальные). К последним относятся космические аппараты (КА) - искусственные спутники Земли.

Спутниковые системы связи

Космические аппараты (спутники вещания) позволили охватить большую часть территории России телевизионным вещанием, но их возможности в организации систем мобильной связи ограничены. КА, и геостационарные, и низкоорбитальные, дороги в производстве, в выведении и поддержании, при ограниченном времени активной работы, что обуславливает высокую себестоимость **спутниковых систем связи (ССС)**. Развитие космической отрасли возможно только с мощной государственной поддержкой, а основные источники коммерциализации находятся в области вещания. Коммерческие СССР имеют свою нишу, но им сложно конкурировать на рынке мобильной связи с другими технологиями, они не способны самостоятельно полностью покрыть ускоренно растущие объёмы фиксированного и мобильного ШПД.

Ограничения на возможности СССР накладывают объективные физические факторы: скорость пролёта низкоорбитальных КА или большая задержка распространения сигнала до геостационарных КА и слабый сигнал связи. Ограниченная энергетика КА обуславливает предел мощности нисходящего сигнала, а значит: большие габариты тарелок стационарных узконаправленных антенн, высокую стоимость конечного оборудования, неизбежную метеозависимость и ограничения скорости передачи данных. Проблемы СССР остро проявляются в высоких широтах, где нет других систем связи.

Нет конкурентных спутниковых технологий мобильного ШПД. Существует небольшой, сокращающийся сегмент услуг **подвижной спутниковой телефонии** (снижение доли с 4% в 2000г., до 2.1% в 2013г.), данная технология широко применяется для телефонной связи на море, но она не предназначена и имеет ограниченные возможности для передачи данных.

Устойчивая тенденция смещения спроса от телефонии к ШПД привела к превышению предложения СССР над спросом в Европе и Америке, к снижению темпов роста этого сегмента космической отрасли. Следствием жёсткой конкуренции с операторами сотовой связи является факт, что **все публичные игроки в этом сегменте, кроме Inmarsat, уже прошли стадии банкротства, имеют малую абонентскую базу, низкую доходность или убыточны.**

Тем не менее, **фиксированная спутниковая связь** (стационарная связь через фиксированную спутниковую тарелку) позволяет получить доступ к сети на скорости до 40/10 Мбит/с по цене 5000 руб/мес. Фиксированная спутниковая связь может участвовать в построении сетей мобильного ШПД, но с привлечением и поддержкой других технологий на последней миле и в обратном канале.

Атмосферные высотные платформы

Платформы для подъёма телекоммуникационной аппаратуры в атмосфере возможны на базе летательных аппаратов (ЛА) разных видов по параметрам:

- пилотируемые или беспилотные (БПЛА),
- аэростатические или аэродинамические,
- свободнолетающие или управляемые,
- автономные или привязные,
- моторные или безмоторные.

Автономные летательные аппараты поднимают автономные источники энергии не только для телекоммуникационной аппаратуры, основную мощность потребляют двигатели для полёта и удержания над целевым районом.



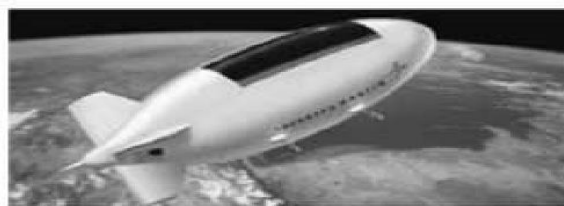
Manned Planes
—e.g. Grob G520T Egrett
(a)



Unmanned Hydrogen Powered Planes
— e.g. Global Observer
(b)



Unmanned Solar Powered Planes
—e.g. NASA/AV Pathfinder Plus
(c)



Unmanned Solar Powered Airships
—e.g. Lockheed Martin HAA
(d)

Типы и примеры летающих высотных телекоммуникационных платформ:

- а) пилотируемые высотные самолёты; б) беспилотные самолёты на жидком водороде;
с) БПЛА на солнечных батареях; д) беспилотные дирижабли на солнечных батареях.

Высокая стоимость лётного часа пилотируемой авиации приемлема, только для временного (военного) применения таких телекоммуникационных платформ.

Время полёта аэростатических аппаратов лимитировано утечкой легкотекучего несущего газа, 1кг гелия стоит дороже \$1000. Типичная продолжительность полёта между дозаправками составляет от одного дня до одного месяца.

Солнечная энергия — доступный источник для полёта и аппаратуры днём, но возникает проблема накопления и хранения энергии для полёта и связи ночью. Мощные аккумуляторы способны поднять только **тяжёлые беспилотные летательные аппараты** с размахом крыла авиалайнера или гигантские

дирижабли. Основная доля, до 90% энергии батарей, идёт на удержание летательного аппарата в воздухе, на борьбу с высотным ветром.

Стоимость подъёма атмосферного летательного аппарата ниже стоимости выведения спутника, возможен спуск, обслуживание и ремонт дорогой телекоммуникационной аппаратуры. Локальная связь значительно дешевле, но количество необходимое для покрытия зоны связи одного КА, многократно растёт, в итоге стоимость системы связи обширных территорий на таких платформах близка к космической.



Helios. [www.solaraircraft.com]



Loon Project.

Актуальны направления радикального снижения стоимости высотной платформы. Компания Google реализует проект «Loon», раздающий интернет с лёгких ретрансляторов массой до 100кг **на свободнолетающих баллонах**. Солнечная панель рассчитана на 100Вт днём, работу аппаратуры ночью должен обеспечивать аккумулятор. В данной технологии невозможна локализация по месту, для обеспечения связи надо покрыть всё небо планеты неуправляемыми шарами, необходимо одновременно держать в воздухе 400 000 аппаратов!

Если среднее время свободного полета для каждого баллона удастся довести до 100 дней, то, чтобы поддерживать необходимую численность, придётся ежедневно запускать по 4 000 ретрансляторов, по 1 каждые 20 секунд!

Есть проблемы с коммерциализацией проекта, при больших текущих затратах по непрерывному производству и запуску ретрансляторов, поддержания наземной инфраструктуры, без гарантии на надёжность связи по месту и времени. Большая проблема проекта - суверенитет воздушного пространства государств.

Привязные платформы

Привязные летательные аппараты способны к длительному полёту, проще автономных летающих аппаратов, леер/стропа/кабель удерживает платформы в полёте. Они не несут источник энергии и аккумуляторы, а получают энергию по кабелю от наземной станции или из ветрового потока. Отказ от подъёма тяжёлых источников энергии и аккумуляторов сокращает вес, габариты и стоимость высотной платформы. Законы многих стран либеральны к привязным аппаратам.

Аэростатические привязные платформы

Аэростатические привязные платформы легче воздуха поднимаются силой Архимеда. Высота ограничена весом кабеля, составляет до 4000м для крупных привязных аэростатов. Наземная станция передаёт по кабелю большую мощность для питания полезной нагрузки (до 40кВт) представляет сложное стационарное инженерное сооружение с электростанцией, причальной мачтой, мощной лебёдкой для спуска/подъёма, газгольдерной станцией дозаправки гелием. Такая станция не способна к автономной работе, требует обслуживающего персонала.



Непрерывная связь на аэростатических платформах невозможна по ряду причин. Максимальная длительность полёта до 30 суток, ограничена временем утечки гелия. Ограничения на непрерывность накладывают сильный высотный ветер и опасность атмосферного разряда. Молнии способны повредить аппарат, токопроводящий кабель, уничтожить наземную станцию.

Аэродинамические привязные платформы

Аэродинамические привязные платформы — привязные летательные аппараты тяжелее воздуха, удерживаются в полёте аэродинамической подъёмной силой ветра или тягой, создаваемой винтами. Соответственно, есть два вида: **моторные и безмоторные** платформы.

Современный вид **моторных привязных аэродинамических платформ** сейчас массово представлен в варианте привязных электрических мультикоптеров. Длительность полёта не ограничена ёмкостью тяжёлых батарей, аппараты получают энергию по кабелю от наземной базы. В сравнении с аэростатическими платформами привязные мультикоптеры значительно компактнее, быстрее в развёртывании, не требуют трудоёмкой дозаправки дорогим гелием, не имеют данного ограничения по времени полёта. Наземная инфраструктура компактнее, меньше необходимая численность персонала.



Для полёта с полезной нагрузкой как у аэростата, мультикоптеру требуется многократно бОльшая мощность и, соответственно, более тяжёлый кабель питания, который ограничивает высоту подъёма, 50...100м для малых мультикоптеров, и до 200...300м для **тяжёлых моделей электровертолётов** с высоковольтной системой электропитания. Усиление ветра требует увеличения потребной мощности для полёта и стабилизации, накладывает погодные ограничения использования.

Итак, космические и аэростатические технологии чрезвычайно дороги, экономически неконкурентны для коммерческого применения.

Гигантские самолёты на солнечных батареях не способны работать в высоких широтах, не могут развернуть панели к низкому Солнцу даже летом.

Привязные мультикоптеры и электровертолёты имеют очень малую высоту подъёма, боятся ветра, энергетически не автономны.

С мощным высотным ветром бесполезно бороться, его нужно уметь использовать. Только **безмоторные аэродинамические летательные аппараты** могут обеспечить большую высоту подъёма телекоммуникационной платформы и энергетическую автономность системы связи.

Исторически первые, самые древние летательные аппараты, поднятые человеком и первые аппараты, поднявшие человека в небо – воздушные змеи. *Абсолютный мировой рекорд высоты подъёма воздушных змеев установлен сотрудниками германской метеостанции Lindenberg, в 1919 году! Связка из 8 змеев была поднята на высоту 9740м.*

Чтобы высоко поднимать полезную нагрузку необходимо поднимать **аэродинамическое качество K** , для змея - тангенс угла возвышения.

Мягкое крыло змея и несущий ротор автожира, имеют невысокое качество $K = 6...10$ и прочностные ограничения максимальной силы ветрового напора. Теоретически, максимально высоким аэродинамическим качеством ($K > 30$ в узком диапазоне скоростей) может обладать ЛА с жёстким крылом большого удлинения.



Специалистами Центральной научно-исследовательской лаборатории "АСТРА МАИ" был представлен проект «АИСТ» (аэродинамическая интегральная система телекоммуникаций). Привязная аэродинамическая платформа массой 800кг – воздушный змеем, планер-биплан с жёстким замкнутым композитным крылом большого удлинения, с размахом 28м, для подъёма 250кг телекоммуникационной аппаратуры и 280кг троса на высоту от 4км до 10км. [Источник: <http://www.nkj.ru/archive/articles/3223/> АИСТ в ветровом потоке.]

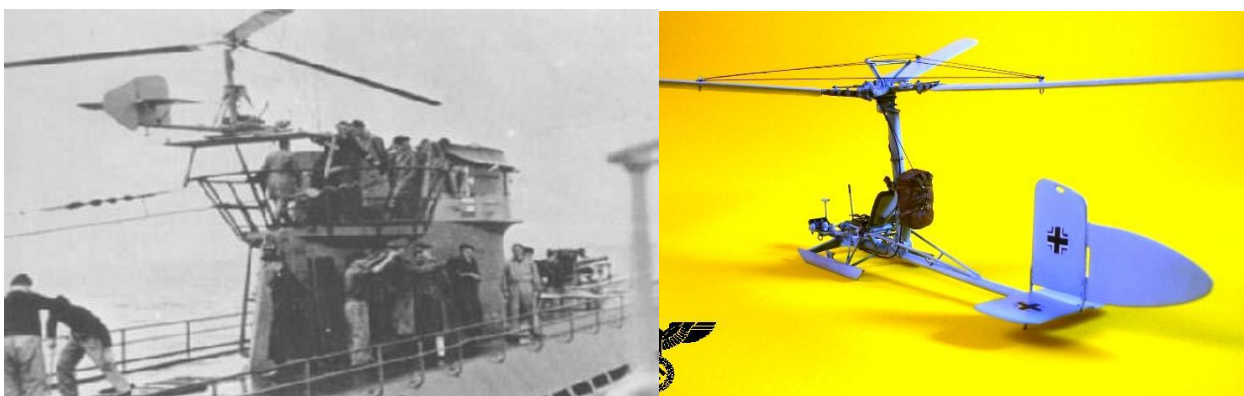
Данный привязной планер мог бы висеть на расчётной высоте в скоростном ветровом потоке с большим углом возвышения, но номинально высокое аэродинамическое качество планера аппарата ($K=30$) неизбежно портит осевая турбина ветрогенератора и тяжёлый леер, создающие большое аэродинамическое сопротивление. Неизбежные рывки тяги змея приводят к избыточному увеличению веса, толщины и парусности леера.

Высокая нагрузка на площадь крыла, более 10кг/м^2 , ограничивает минимальную скорость полёта: 60км/ч у земли, 100км/ч на высоте 10 000м. Крыло большого удлинения имеет узкий скоростной диапазон, опасно теряет устойчивость при слабом ветре и в разряженных слоях тропосферы. Пределы прочности ограничивают допустимый ветровой напор. В высотных струйных течениях зафиксирована скорость ветра 398км/ч. [en.wikipedia.org/wiki/Jet_stream]

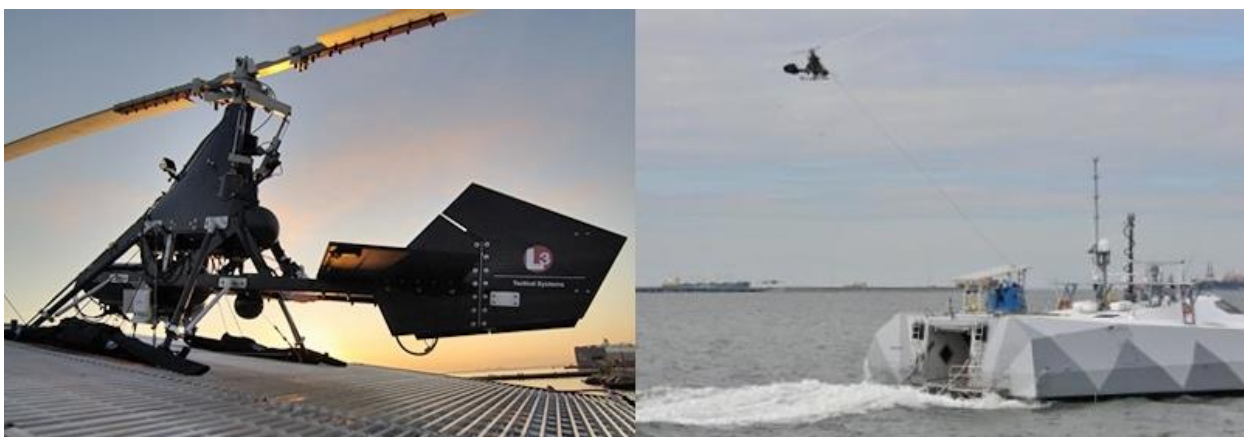
Ахиллесова пята проекта - проблема запуска. Для подъёма на расчётную высоту с достаточным ветром, требуется длительный разгон на буксире автомобилем или катером, по прямой против ветра, без помех воздушных линий электропередач. По предварительным расчётам подъём займёт более 1.5 часов.

Недостатки змеев: проблемы с запуском и при посадке, проблемы с устойчивостью на малых скоростях в турбулентном потоке, привели к появлению нового типа привязных ЛА - **буксируемых автожиров, ротопланеров (rotokites)**.

Складной лёгкий привязной пилотируемый автожир Fa.330 "Bachstelze" на 300-метровом тросе поднимал пилота-наблюдателя на высоту 220м, обеспечивал безопасное возвращение. Аппарат демонстрировал высокую весовую отдачу, при массе 75кг имел 175кг влётного веса.



С 2014 года компания L3 Commuunications испытывает беспилотный буксируемый автожир «Valkyrie» взлётным весом 95кг для флота США.



Буксируемые автожиры обладают малым аэродинамическим качеством $K=5$ и малым углом возвышения. Кабель питания ограничивает высоту и угол подъёма, минимальную скорость буксировки. Аппарат не способен достать ветер достаточный для полёта в режиме змея.

Известные привязные аэродинамические летательные аппараты - **воздушные змеи и привязные автожиры** используют ветер для полёта, каждая имеет свои преимущества и нерешённые проблемы: запуска, прочности, энергоснабжения полезной нагрузки, имеют узкий диапазон скоростей, не способны летать на больших высотах с большим углом возвышения.

Фиксированное крыло большого удлинения обладает высоким аэродинамическим качеством в узком диапазоне скоростей, на малых скоростях теряет устойчивость, валится в штопор. Диапазон скоростей потока чрезвычайно широк, от приземного штиля, до более 100м/с в струйных течениях верхней тропосферы.

Несущие винты имеют более широкий диапазон скоростей и углов атаки, устойчиво парашютируют, дают вертикальный взлёт и вертикальную посадку. Несущий винт – дорогая и сложная шарнирная конструкция, имеет ограниченный ресурс и КПД. Вертолётные жёсткие лопасти, имеют фиксированную крутку для одного режима, не способны работать в принципиально разных режимах по направлению потока.

- **Вертолётный режим** необходим для подъёма и безопасного спуска в приземном слабом ветровом потоке.
- **Авторотация с высоким аэродинамическим качеством** необходима для длительного удержания на высоте с большим углом возвышения.
- **Режим ветротурбины** даёт энергетическую автономность и большую высоту подъёма на тонком лёгком леере.

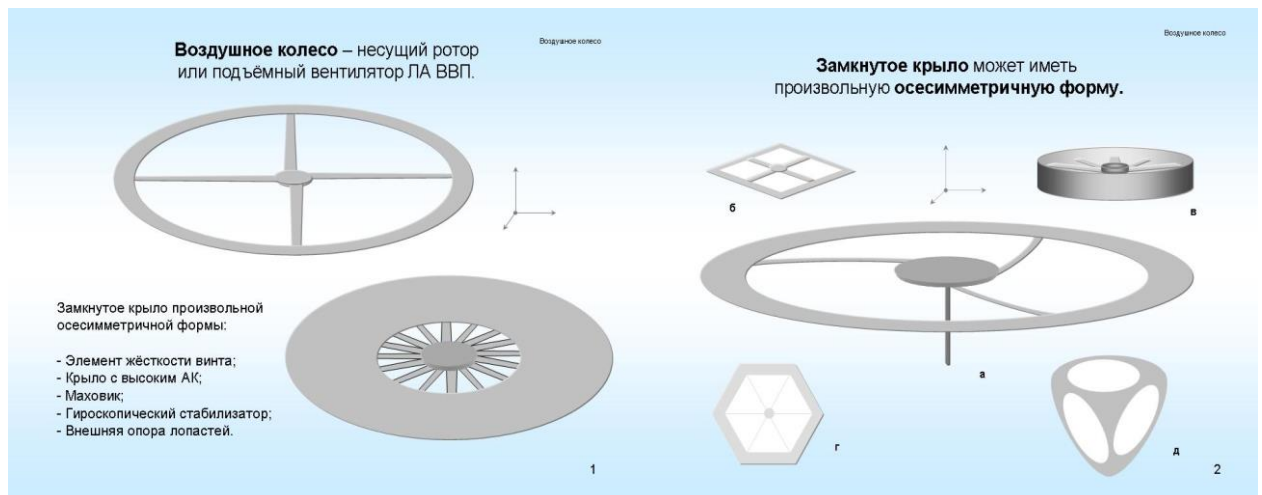
Один ротор в вертолётном режиме и при генерации порождает некомпенсированный реактивный момент, ветроэнергетической платформе необходима двухроторная или четырёхроторная схема. Подвижное шарнирное крепление лопастей несущих винтов порождает вибрацию, разрушающую раму платформы. Невозможны крупные многороторные схемы на традиционных несущих винтах. Большие несущие винты изменяемого шага имеют прочностные ограничения скорости потока, обладают низким аэродинамическим качеством.

Ни одна из известных технологий **аэродинамических высотных привязных платформ** в полной мере не удовлетворяет искомым требованиям, нужна новая, объединяющая их достоинства и лишённая недостатков.

Воздушное колесо

Системные проблемы традиционных технологий привели к необходимости создания новых решений для телекоммуникационных высотных аэродинамических привязных платформ. В основе новой технологии лежит инновационный несущий ротор «Воздушное колесо» (патент RU2538737).

Воздушное колесо (ВК) – несущий ротор летательных аппаратов вертикального взлёта и вертикальной посадки, гибрид несущего винта и замкнутого крыла большого удлинения.

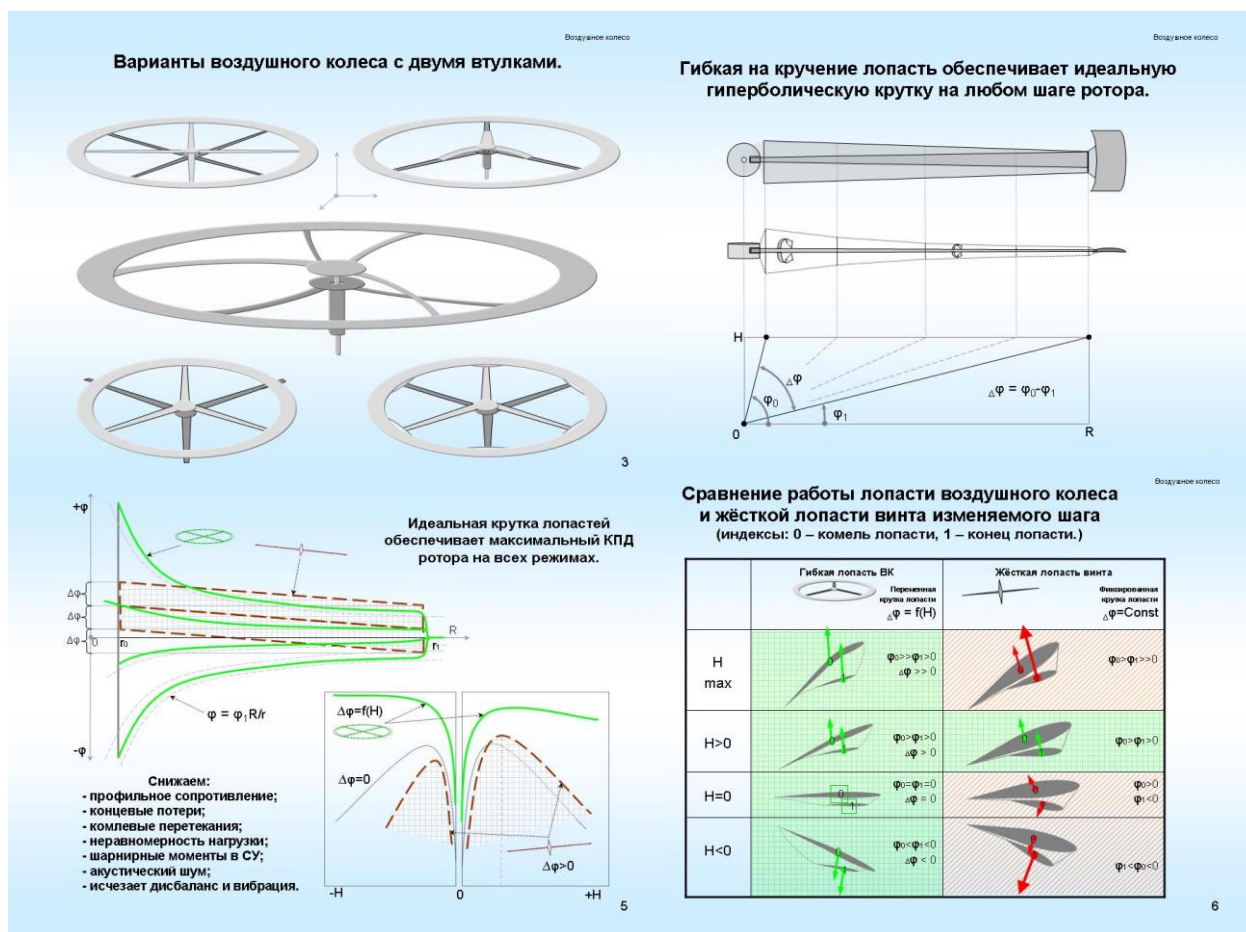


ВК может иметь одну или две втулки. Облегченные простые втулки, избавлены от выламывающих циклических нагрузок и шарниров. Ротор с двумя втулками аналогичен велосипедному колесу, приобретает жёсткость относительно оси вращения, летательный аппарат становится гиростабилизированным.

Лопастей ВК принципиально отличаются от тяжёлых жёстких вертолётных лопастей, они **адаптивные**, упругогибкие на кручение, натянуты между ободом и втулкой, имеют эффективный аэродинамический профиль. Переменная упругость на кручение вдоль лопасти обеспечивает идеальную гиперболическую кривую лопасти и равномерную нагрузку на диск ротора, при любом шаге, в широком рабочем диапазоне. Принципиальное отличие и уникальное качество ротора ВК — работа с высоким КПД в 3 разных режимах: **в вертолётном, на авторотации и в режиме ветротурбины**. ВК имеет более высокий КПД при висении в вертолётном режиме, в два раза более высокое аэродинамическое качество на авторотации и высокий коэффициент использования энергии потока в режиме ветротурбины.

Радикально снижается шум и аэродинамические потери. Минимальные массы и нагрузки в креплении лопасти с втулкой, а также в системе управления снижают потери, продлевают ресурс ответственного узла.

Воздушное колесо жёсткое в плане, сохраняет баланс, устраняется причина вибрации – родовое проклятие винтокрылых летательных аппаратов.



Воздушное колесо имеет внешнее замкнутое крыло - кольцеобразное или произвольной осесимметричной формы, которое выполняет несколько функций:

1. Тонкое монолитное **крыло** большого удлинения, натянутое центробежными силами, основной несущий элемент в скоростном ветровом потоке с минимальным индуктивным и профильным сопротивлением, с высоким **аэродинамическим качеством** ($K \sim 20-25$).
2. Кольцеобразный **маховик** с максимальным моментом инерции, запасает большой объём энергии на земле, способен выдавать высокую мощность на взлёте непосредственно лопастям без редуктора, без потерь и без реактивного момента.
3. **Силовой гироскоп**, прочно стабилизирующий летательный аппарат по крену и тангажу в турбулентном ветровом потоке, без сложных систем стабилизации. Силовая гироскопическая стабилизация платформы делает её всепогодной, облегчает подвес полезной нагрузки: направленных антенн телекоммуникационной аппаратуры и камер наблюдения.
4. Внешнее кольцо – может быть **ротором прямого электрического привода и/или генератора** без потерь в механических редукторах.

5. Внешнее замкнутое крыло – конструктивный элемент механической жёсткости ротора:

- увеличивает максимальную допустимую скорость ветрового напора;
- даёт тонким упругим лопастям натяжение и внешнюю опору, обеспечивает идеальную соконусность лопастям ротора;
- защищает концы от флаттера, убирает нечётные гармоники лопастей;
- позволяет увеличить диаметр ротора при минимальном весе, снижает удельную нагрузку на площадь и необходимую скорость ветра для взлёта, посадки и висения;
- разгружает, облегчает и упрощает втулку ротора, избавляет лопасти от вертикальных и горизонтальных шарниров;
- устраняет дисбаланс и вибрацию, допускает многороторные схемы.

Несущий ротор автожира – винт переменного циклического шага с жёсткими лопастями фиксированного общего шага, работает в одном режиме – авторотация. Это сложный аэродинамический процесс с нулевым балансом энергии, съём энергии с ротора невозможен, потеря оборотов несущего винта недопустима.

Воздушное колесо - ротор изменяемого шага с кинетическим накопителем энергии, работает в широком диапазоне на разных режимах с максимальным КПД, решает проблемы с запуском, устойчивостью в полёте, высотой подъёма, энергоснабжением полезной нагрузки.

Высокая прочность воздушного колеса выдерживает мощный высотный ветер, позволяет увеличивать диаметр несущего ротора при минимальной массе.

Гиропланер

На роторах воздушное колесо возможен эффективный привязной аэродинамический гиростабилизированный летательный аппарат вертикального взлёта и вертикальной посадки — **гиропланер** (гирозмей, gyroglider, gyrokite). Гиропланер – аналогичен привязным автожирам (rotorkite), вместо управления циклическом шагом большого несущего винта имеет несколько прочных несущих воздушных колёс с управляемым общим шагом, как воздушный змей имеет несущий корпус, летающее крыло, как мультикоптер имеет вертикальный взлёт.

Конструктивно гиропланер может быть реализован по двухроторной или многороторной схеме, реактивные моменты роторов противоположного вращения в вертолётном режиме и режиме ветротурбины взаимно компенсируются.



Четырёхроторный гиропланер - гибрид воздушного змея с квадрокоптером.

Гиропланер устойчиво вертикально взлетает с большой полезной нагрузкой, независимо от погодных условий. Воздушные колеса большого диаметра требуют меньшей мощности, чем малые винты мультикоптеров. Гиролёт летает с положительным углом атаки, использует помощь ветра (а не борется с ним), что позволяют взлетать с лёгким кабелем, на аккумуляторах или совершать **инерциальный вертикальный подъём**, на высоту более 500м, до ветра достаточного для дальнейшего набора высоты, уже полностью за счёт энергии потока. С увеличением высоты растёт сила и стабильность ветра, выше 300м исчезает турбулентность, вызванная влиянием поверхности.

Платформа всепогодная на всех режимах: при запуске, в полёте, при посадке. Силовая гироскопическая и аэродинамическая стабилизация надёжно удерживают гиропланер в потоке без участия системы управления. Продольное и поперечное смещение в пространстве, фиксация точки висения происходит с минимальными кренами, смещением аэродинамического фокуса, изменением общего шага отдельных колёс многороторной платформы. Высокая стабильность гиропланера, минимизирует запас прочности леера, вес, толщину и парусность, что в сочетании с высоким аэродинамическим качеством ($K > 15$) обеспечивает полёт с большим углом возвышения, минимальным ветровым сносом.

Высокая прочность воздушного колеса и способность к авторотации на малых углах атаки поднимает верхнее ограничение по скорости допустимого ветра и, соответственно, допустимую высоту полёта. Гиропланеру при нагрузке на несущую площадь 5 кг/м^2 , для полёта на привязи на малой высоте (500м) достаточен ветер 10-12м/с, на высоте 10км потребуются 20м/с. В высотных струйных течениях возможен ветер более 100м/с.



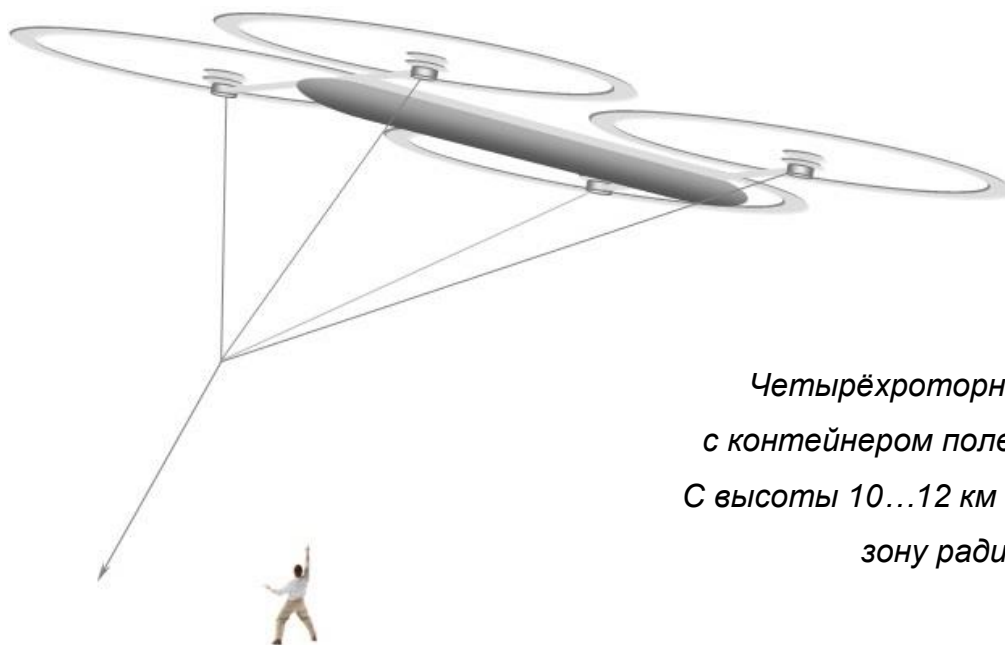
Высотный гиропланер — «зелёная» энергетически автономная платформа, воздушное колесо имеет высокий коэффициент использования энергии ветра. Стабильный высотный тропосферный ветер - надёжный неисчерпаемый источник экологически чистой энергии высокой плотности в диапазоне $1...10\text{кВт/м}^2$. Плотность энергии высотного ветра на порядок выше солнечной и приземной ветровой энергии, при главном качестве – **непрерывности**. Энергии достаточно для полёта и питания полезной нагрузки.

Гиропланер не нуждается в тяжёлых аккумуляторах, имеет высокую весовую отдачу, доля полезной нагрузки может составить до 50% массы аппарата. Телекоммуникационной аппаратуре на высотных платформах не грозит перегрев, на высоте 10км надёжное естественное охлаждение ветром со стабильной температурой -50°C , без влаги и пыли.

Минимальная наземная база – завинченная в землю свая с лебёдкой натяжения леера. При спуске потенциальная энергия платформы утилизируется воздушными колёсами, запасается в маховиках. Мягкая посадка проходит в вертолётном режиме с натяжением леера лебёдкой наземной базы.

Леер - тонкая прочная нить для змеев из материала с высокой удельной прочностью на разрыв сверхвысокомолекулярного полиэтилена СВМПЭ (UHMWPE Dyneema®, Spectra®). 15км леера добавляет 10% к массе гиропланера. Диэлектрический подвес с гидрофобным покрытием не подвержен обмерзанию и атмосферным разрядам. Обрыв леера повлечёт управляемый спуск гиропланера и мягкую посадку на площадку обслуживания с заданными координатами. Леер может содержать оптоволокно – защищённый, ёмкий канал связи.

Воздушные колёса, в отличие от винтов фиксированного шага мультикоптеров, допускают широкий диапазон масштабирования по размерам. Вес полезной нагрузки привязной платформы возможен от граммов, до тонн.



*Четырёхроторный гиросамолёт
с контейнером полезной нагрузки.
С высоты 10...12 км контролирует
зону радиусом до 350км.*

На длинный леер крупной высотной платформы могут крепиться миниатюрные лёгкие модули с сигнальными огнями, метеодатчиками, камерами наблюдения. Последовательное соединение на одном леере вертикальных гирлянд, где верхний высотный модуль удерживает несколько нижних платформ, работающих на малых высотах, может иметь большую суммарную массу.

Энергетически автономный гиросамолёт требует минимальных затрат в полёте из известных вариантов аэродинамических и аэростатических аппаратов. **Себестоимость лётного времени привязного гиросамолёта на порядки ниже показателя других ЛА с аналогичным весом полезной нагрузки.** Длительность полёта гиросамолёта не лимитирована, он способен годами автономно работать в ветровом потоке на высотах от 6 до 16 км с большим углом возвышения.

Преимущества привязных высотных платформ на базе гиросамолётов – длительность полёта, энергетическая автономность и энерговооружённость. Свобода от энергетики наземной базы, позволяет оперативно разворачивать сети систем мобильной связи с минимальными затратами при отсутствии инфраструктуры, в неосвоенных энергодефицитных районах, в местах массового скопления людей, при ЧС, техногенных катастрофах, войсковых операциях, ...

Инерциальный вертикальный взлёт

Взлёт - наиболее сложный и энергозатратный режим для всех летательных аппаратов. Запуск змея сложный процесс, требующий сноровки, открытого места и подходящих погодных условий, запуск тяжёлого змея - многократно более сложная задача. Вертикальный взлёт здесь наиболее уместен, но требует больших энергетических затрат. Лучше вертикального взлёта может быть только всепогодный, быстрый, бесшумный, инерциальный вертикальный подъём (IVTOL). Именно такой взлёт обеспечивают гиропланеру роторы воздушное колесо.

Перед взлётом энергия закачивается в маховики, воздушные колёса разгоняются до высоких оборотов на земле, энергия поступает по кабелю от внешнего источника. Основная масса воздушного колеса сосредоточена в замкнутом крыле. Массивный кольцеобразный маховик имеет максимальный момент инерции, накапливает большой объём энергии и затем выдаёт её непосредственно лопастям с мощностью, многократно превышающей мощность двигателей раскрутки. Воздушное колесо является кинетическим накопителем энергии, без потерь преобразования механической энергии в другие виды, с неограниченным ресурсом по количеству циклов заряда-разряда.

Стартовая раскрутка роторов может производиться до больших линейных скоростей $u_0=280-300\text{ м/с}$ при минимальных полётных $u_1=50\text{ м/с}$. При инерциальном взлёте кинетическая энергия роторов переходит потенциальную энергию платформы со средним КПД $\eta \sim 0.3...0.5$. Маховики с относительной массой m/M около $1/3$ от взлётной массы платформы запасают энергию для быстрого вертикального инерциального подъёма на высоту H , без учёта помощи приземного ветра:

$$H = \eta (u_0^2 - u_1^2) m / 2 M g = 500 \dots 700 \text{ метров.}$$

Дальнейший подъём до расчётной рабочей высоты происходит с помощью стабильной энергии высотного ветрового потока.

Гиропланер не просто воздушный змей с инерциальным вертикальным взлётом, а управляемый привязной аэродинамический летательный аппарат с высоким аэродинамическим качеством, способный осуществлять наиболее энергетически эффективный способ набора высоты – «подъём по серпантину», широкими галсами поперёк ветрового потока.

Таким способом увеличивается площадь сбора энергии из слабого потока, многократно возрастает скорость аппарата относительно воздуха, подъёмная сила растёт в квадрате от воздушной скорости.

Юридический вопрос

Юридические аспекты использования БПЛА имеют важное значение. Ужесточение правил регистрации и регламента использования БПЛА (в США, в России и в мире) одновременно при либеральном законодательстве по отношению к привязным аэростатическим и аэродинамическим платформам вызывает рост спроса таких систем **для легального коммерческого использования**: съёмки, непрерывного мониторинга, телекоммуникаций, и пр.

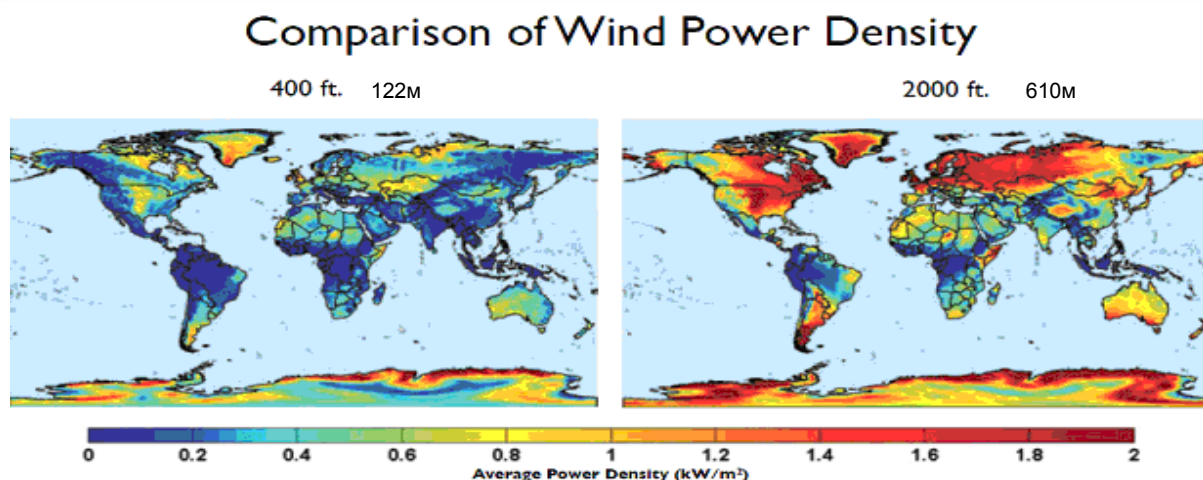
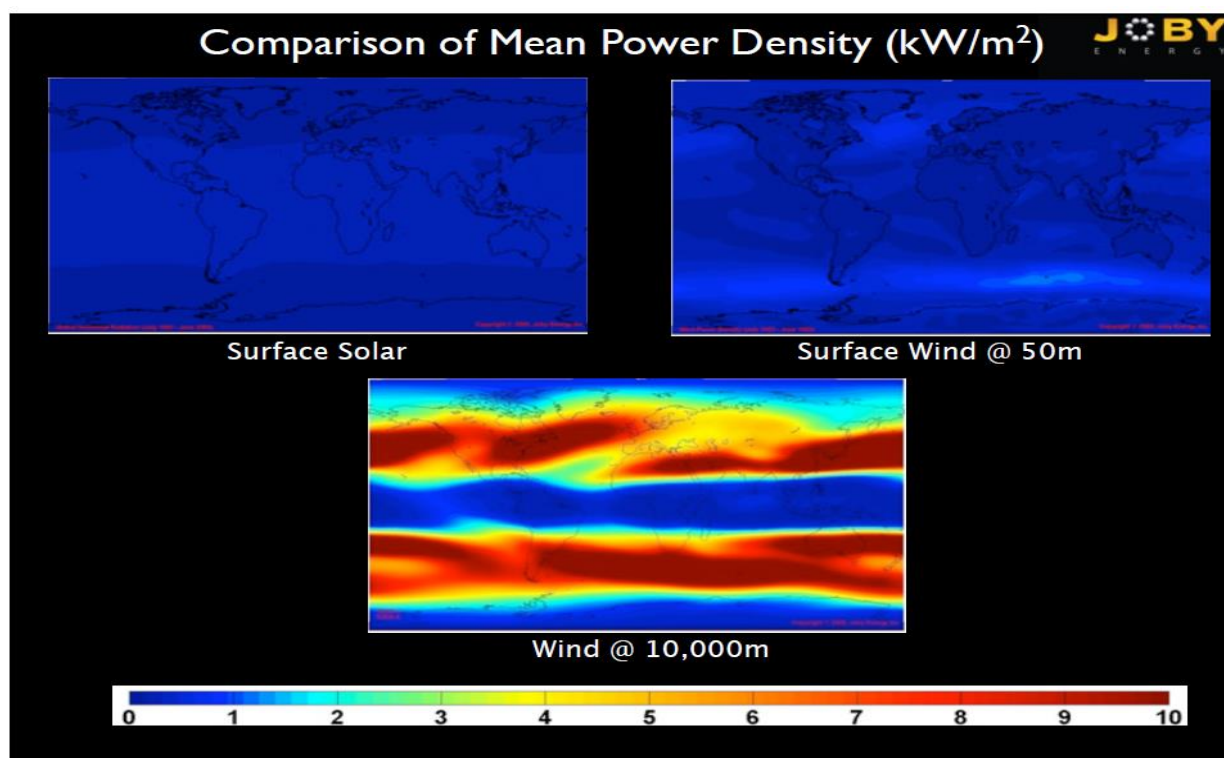
Основополагающие документы, регламентирующие использование воздушного пространства в России (Воздушный кодекс РФ и Правила использования воздушного пространства) регулируют условия подъёма привязных аэростатов, при этом никак **не ограничивают использование привязных аэродинамических летательных аппаратов - воздушных змеев**. Ни по массе, ни по высоте, ни по времени, ни месту подъёма.

Гиропланер – воздушный змей с системой активной стабилизации и безопасного возвращения.

- Деревья, здания, вышки, воздушные змеи, пилотажные управляемые кайты, буксируемые змеи, все привязные аэродинамические летательные аппараты, фактически, не перемещаются в воздушном пространстве и по определению **не являются пользователями воздушного пространства**.
- Тонкая нить не представляет опасности для самолётов и наземных объектов.
- Воздушные змеи не создавали угрозу безопасности для воздушного движения.
- При обрыве леера управляемый аэродинамический летательный аппарат не представляет опасности, совершает автоматический управляемый спуск на площадку обслуживания с заданными координатами.
- На высотах от 3000м самолёты летают по воздушным трассам шириной 10км, расстояние между трассами минимум 20км, не менее, чем в два раза превышает их ширину. Всегда есть места подъёма, где высотные телекоммуникационной платформы будут вне трасс воздушного движения.
- Крупные высотные привязные платформы с датчиками системы уклонения способны автоматически уходить с траектории воздушных судов.
- Как речные бакены и буи не мешают судоходству, в перспективе и **высотные привязные платформы** с сигнальными огнями и отражателями **могут стать необходимыми элементами** организации безопасного воздушного движения.

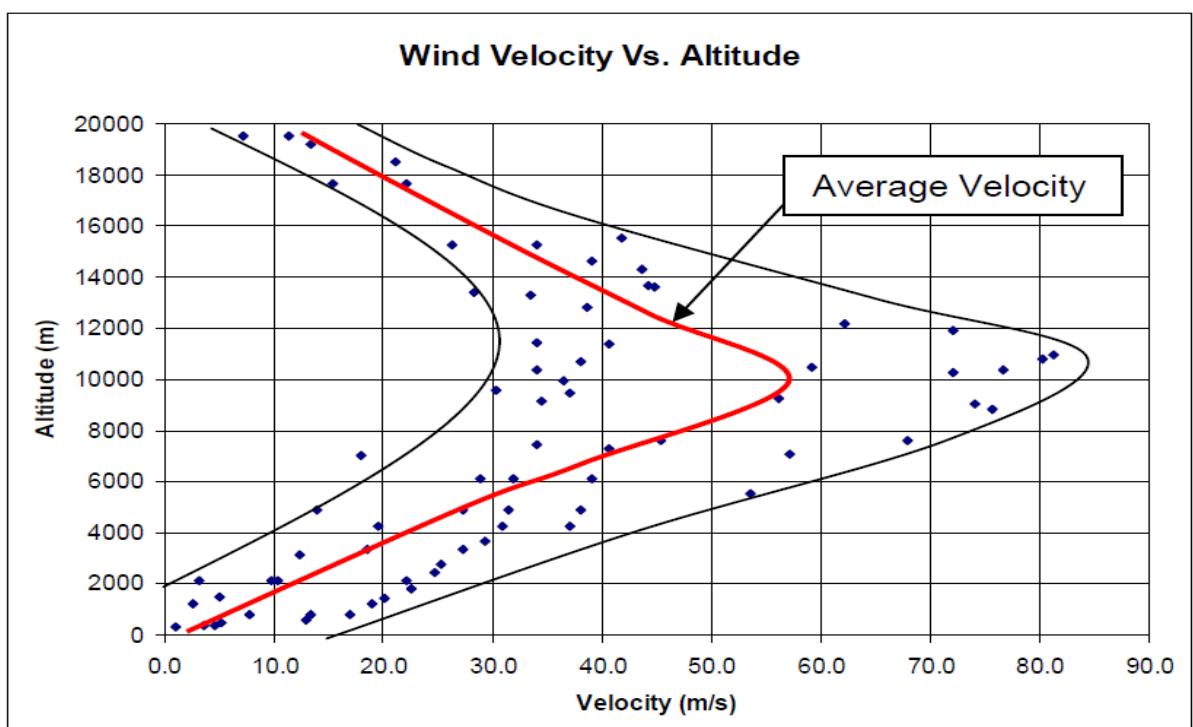
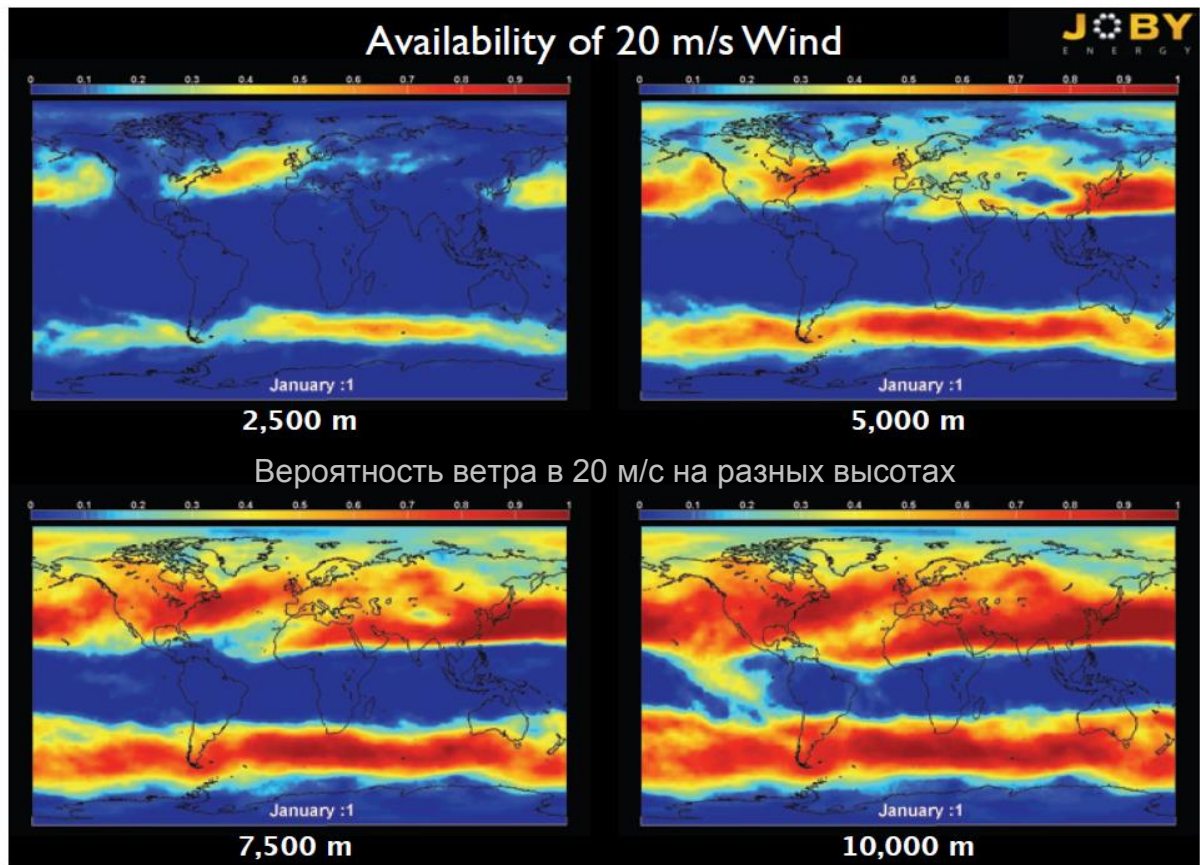
Высотная ветроэнергетика

Высотный тропосферный ветер – мощный надёжный неисчерпаемый ресурс с высокой плотностью энергии. **Плотность энергии высотных ветров многократно** превышает плотность солнечной энергии и энергии ветра у поверхности земли. Удельная мощность ветрового потока пропорциональна плотности воздуха и растёт в кубе от скорости. Увеличение скорости ветра в 5 раз, с учётом уменьшения плотности атмосферы в 3 раза, приводит к росту плотности энергии **в 40 раз!** Комплексные исследования суммированы компанией Jovy Energy, наглядно представлено сравнение плотности солнечной, ветровой энергии у поверхности и высотных ветровых потоков на высоте 10 000м:



$$P_w = \frac{1}{2} \rho_{air} v_{wind}^3$$

Важнее мощности и высокой плотности энергии может быть только **постоянство, высокая надёжность и глобальность** ресурса. Высотный тропосферный ветер надёжный распределённый неисчерпаемый ресурс, он глобален за исключением экватора и полюсов. Постоянный поток энергии высотного ветра с минимальными суточными и сезонными колебаниями, обеспечивает стабильный полёт, энергетическую автономность, избавляет лёгкую привязную платформу от тяжёлых аккумуляторов.



В тропосфере, зависимость средней силы ветра от высоты есть монотонная функция, в приземном слое зависимость описывается упрощённой формулой:

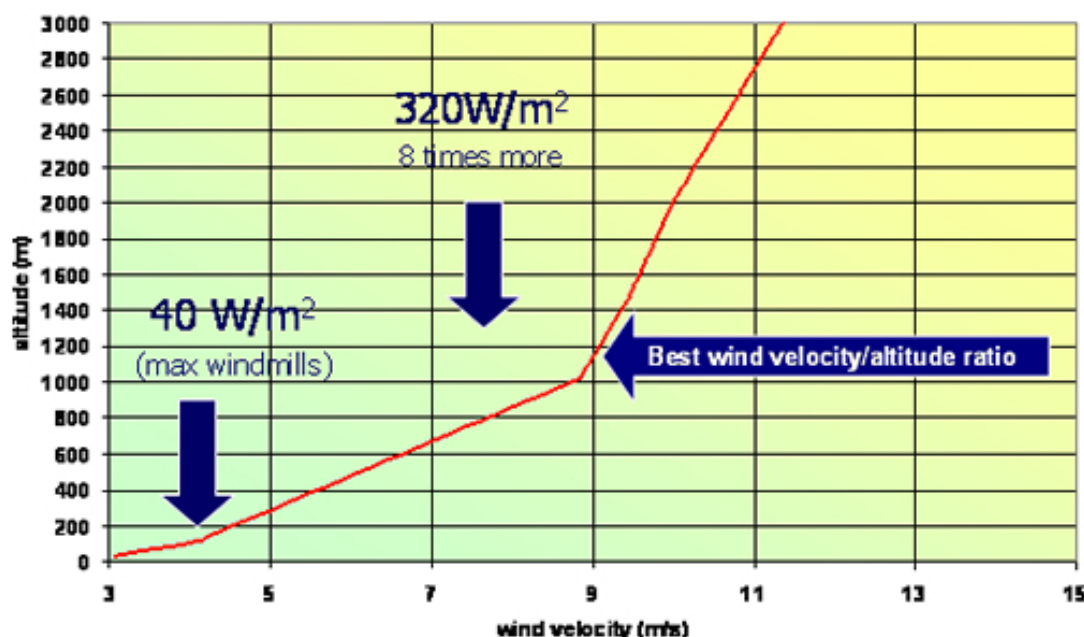
$$V = V_0 (H/H_0)^A$$

где: V_0 и H_0 - известные значения скорости ветра (м/с) на исходной высоте (м);

H - запланированная высота (м);

V - определяемая скорость ветра (м/с);

A - эмпирический показатель степени 0.14 -:- 0.2.



Все исследования атмосферы фиксируют рост силы и стабильности ветра с увеличением высоты вплоть до стратосферы. В географически разных местах ветер в тропопаузе достигает максимальных значений. Наибольших скоростей ветер достигает в высотных струйных течениях, в полярных (над широтами 60°) и субтропических (над широтами 30°). Высотная платформа должна быть готова к ветру более 80м/с с напором более 130кгс/м². Традиционные несущие винты изменяемого шага приемлемого веса не способны выдерживать такую нагрузку.

На высотах 9...12км в ветровом потоке со скоростью 20...40м/с может стабильно держаться гиропланер с удельной нагрузкой 5кг/м². Колёса гиропланера работают в потоке высокой плотности энергии от 1.5кВт/м² до 12кВт/м². Без значительной потери аэродинамического качества и угла возвышения, можно снимать ~10% мощности потока, от 150Вт до 1.2кВт с каждого квадратного метра площади воздушных колёс. При большой площади роторов, мощность для телекоммуникационной аппаратуры более чем достаточна. Изменяя угол атаки платформы к потоку, меняя натяжение леера и общий шаг роторов можно дозировать генерируемую мощность в широком диапазоне.

Для привязного аэродинамического летательного аппарата, в зависимости от удельной нагрузки на площадь, существует минимальная необходимая скорость относительно воздуха, которая может быть кратно выше скорости ветра. На малых и больших высотах, при более слабом ветре, гиропланер способен сохранять высоту полёта и мощность питания аппаратуры, увеличивая воздушную скорость и площадь сбора энергии потока, совершая полёт широкими галсами поперёк ветра. С ростом скорости относительно потока, подъёмная сила растёт в квадрате, располагаемая мощность возрастет в кубе.

Максимальная возможная высота полёта привязной аэродинамической платформы находится в разряженной стратосфере, в зоне снижения скорости ветра 12 - 14 км. Чем меньше удельная нагрузка на несущую площадь гиролёта, тем шире диапазон доступных высот полёта аэродинамической привязной платформы.

Наземные ветроэнергетические установки не могут работать при ветре более 22...24м/с, от разрушения конструкции спасает только остановка роторов. Высотные ветра сильнее и стабильнее. Ураганы, тайфуны, смерчи гуляют в нижних слоях тропосферы.

Воздушные колеса высотной платформы работают в косом обтекании, скользят в потоке с малым углом атаки плоскости вращения, обладают большой механической прочностью, на высокой скорости вращения центробежные силы натягивают замкнутое крыло, повышают жёсткость роторов. **Избыток ветрового напора используется на увеличение угла возвышения, на подъём высоты полёта** в более спокойные разряженные слои стратосферы.

Стабильная высокая плотность энергии потока на высотах от 6 до 14 км определяет энергетические возможности гиропланера и выгодно отличает его от других технологий высотных платформ, основанных на слабой и периодической энергетике больших солнечных панелей с тяжёлыми аккумуляторами.

Высокая мощность нисходящего сигнала - условие обеспечения высокой скорости, дальности и надёжности связи в высокочастотных диапазонах, снимается зависимость связи от метеоусловий, упрощаются требования к конечной аппаратуре, улучшается приём внутри помещений.

Для телекоммуникаций, текущих и будущих потребностей мобильного широкополосного доступа **привязные высотные аэродинамические платформы на несущих роторах** вне конкуренции по всем важнейшим параметрам: располагаемой мощности, капитальным и операционным затратам, скорости развёртывания, автономности, надёжности, экологичности.

Энергетика связи и экология

В среднем, при удельной потребляемой мощности 2Вт, на каждого пользователя мобильной связи приходится около 17 кВт•ч/год. Если учитывать, что в России сотовой связью активно пользуются более 120 млн. абонентов, то получим среднюю цифру потребляемой мощности в 250МВт. В масштабе всей энергосистемы эта величина, наверное, не впечатляет, но для телекоммуникационных компаний обеспечение дополнительных мощностей оказывается непростой задачей. Проблема усугубляется тем, что региональные энергоснабжающие компании с трудом удовлетворяют растущий спрос, и в мегаполисах, и в отдалённых населённых пунктах. Плата для коммерческих организаций за подключение к электросетям мощностью в несколько киловатт измеряется в тысячах евро. Эти суммы влияют на рост тарифов, ложатся на плечи абонентов. Такова цена централизованной генерации, прокладки и содержания линий электропередач, оплата неизбежных потерь и расходов на «административные издержки».

Хотя энергопотребление отдельной базовой станции невелико и составляет в среднем 3...7кВт, затраты на энергоснабжение составляют 50%...60% от всех операционных затрат, связанных с эксплуатацией станции. Подсистема насчитывает тысячи базовых станций, поэтому снижение энергозатрат открывает значительные возможности для снижения себестоимости связи.

Около 25% потребляемой мощности базовой станции уходит на кондиционирование шельтера (наземного контейнера аппаратуры), как правило, с помощью обычных кондиционеров - бытовых сплит-систем. Естественного охлаждения недостаточно, используемые в качестве источника бесперебойного питания аккумуляторные батареи требуют поддержания температуры в узком диапазоне +18°C...+22°C, и его не удастся расширить. Кондиционер - один из основных потребителей электроэнергии на базовой станции, на четверть увеличивает её расход.

На современном уровне хозяйственной деятельности, проблемы экологии выходят на первый план. Экологическая безопасность - определяющий фактор, влияющий на стоимость любой технологии. Важность систем связи для всей современной экономики и высокие темпы роста отрасли накладывают особые требования на решения с большим потенциалом масштабирования.

Прокладка линий передач и кабельных линий связи в болотах и вечной мерзлоте проблематична. Все попытки индустриализации Арктических территорий сопровождались чудовищным загрязнением среды. Основу энергоснабжения

Арктических районов составляют 47000 малых дизельных электростанций, при себестоимости энергии 30...100 руб/кВт*ч (на 2013 год), **без учёта стоимости ликвидации экологических последствий завоза топлива в бочках.**



Страшные реалии «освоения Арктики»: россыпи ржавых бочек до горизонта.

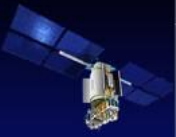




Проблеме использования альтернативных источников энергии для снабжения объектов сотовой связи стали уделять большое внимание в мире. В «GSM Association» с 2008 г. постоянно действует программа “Green Power for Mobile”. Основной целью программы является поиск оптимального решения для энергоснабжения базовых станций, не подключённых к электрическим сетям [<http://www.gsma.com>].

Экологически чистая связь может опираться только на децентрализованную экологически чистую энергетику от **надёжных возобновляемых источников**. Главная проблема традиционных возобновляемых источников энергии - **нестабильность**. Солнечные панели бесполезны полярной ночью, гидроресурсы замерзают, наземные ветряки большую часть времени только украшают пейзаж. Расплата за ненадёжность закономерна, всю экологичность солнечных батарей и наземных ветрогенераторов полностью убивает использование мощных аккумуляторов. Химические аккумуляторы - дорогой расходный материал, имеют короткий срок службы до 3-5 лет, их промышленное производство наносит колоссальный вред окружающей среде, а стихийная утилизация катастрофична. Экологические последствия от токсичных куч отработанных свинцовых аккумуляторов страшнее россыпей ржавых бочек.

Высокая чистая связь

Единственный надёжный источник энергии на высоте 10км – высотный тропосферный ветер. Главные качества чистой высотной ветроэнергетики – высокая плотность энергии, глобальность и стабильность. Экологически чистым высотным привязным платформам не нужны тяжёлые мощные химические аккумуляторы с ограниченным сроком службы. Высокая плотность и стабильность энергии обуславливают малый вес и стоимость платформ. При минимальных капитальных затратах развёртывания систем связи, имеем и наименьшие эксплуатационные издержки.

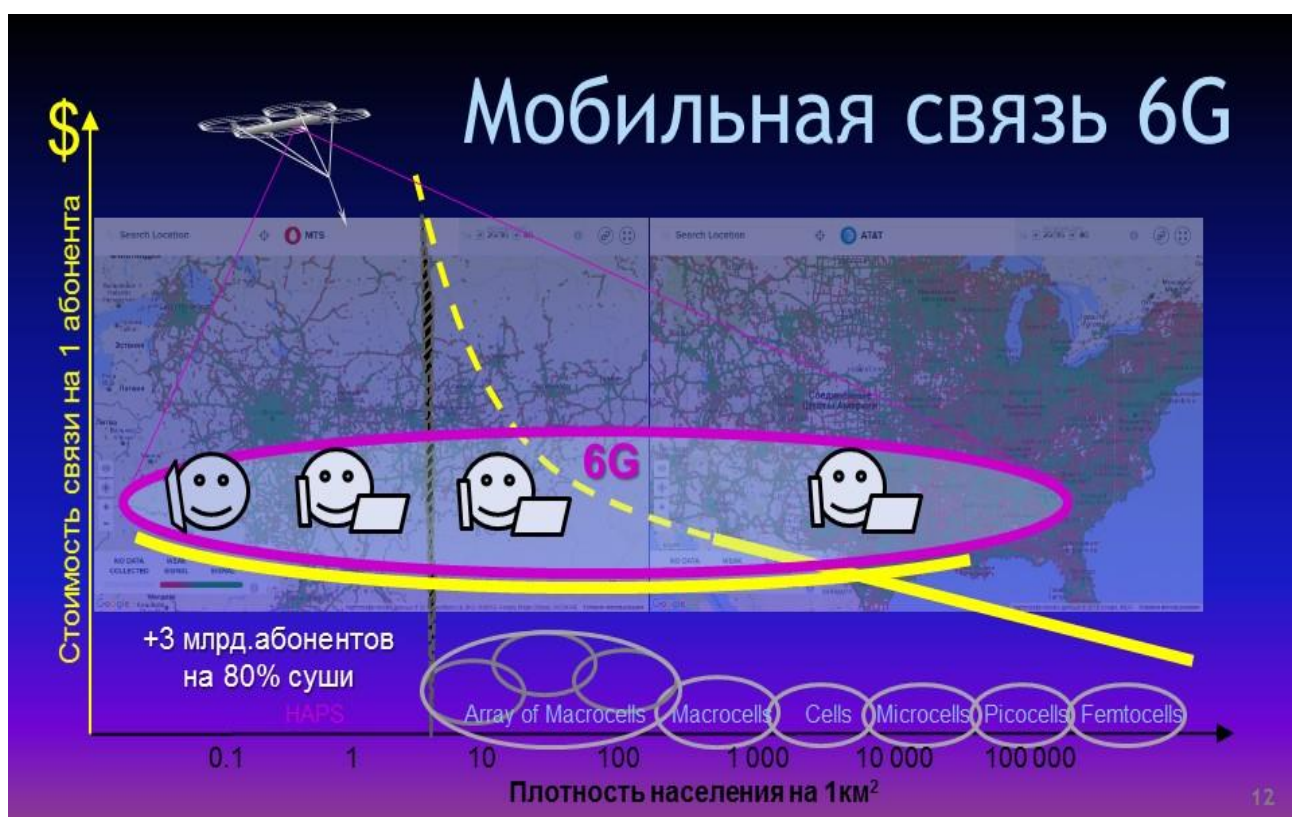
Высота привязной платформы превышает высоту вышки базовой станции примерно в 200 раз, площадь покрытия увеличивается в 200 раз, радиус зоны покрытия увеличивается до 300...350км. Одна экологически чистая высотная платформа способна заменить десятки вышек и такое-же количество мелких и дорогих в содержании электростанций.

	Технологии HAPs	↑H км R→ км	Затраты MS операционные + развёртывания	Энергетика покрытия Вт/км²	Rang
	Низкоорбитальная группировка спутников связи	↑200-2000 2000→	1000 100 10 1 0.1		WWAN
	Ретрансляторы на неуправляемых аэростатах Google Loon	↑20 40→	1000 100 10 1 0.1		WWAN
	Гигантские БПЛА на солнечных батареях Zephyr, Helios, Aquila	↑15-25 <100→	1000 100 10 1 0.1		WRAN
	Высотные аэродинамические привязные платформы	↑2-14 20-300→	100 10 1 0.1		WWAN WRAN WMAN
	Наземные вышки сотовой связи	↑0.03-0.05 <10→	100 10 1 0.1		WLAN 10

Современные магистральные волоконно-оптические линии передач достигают дальности в 400-500км без использования пунктов регенерации или промежуточных усилителей с электрическим питанием. Высотные привязные платформы с высоты 10км видят друг друга на расстоянии до 700км, обеспечивают сплошную зону покрытия. Использование радиорелейных и оптических каналов между платформами позволяет отказаться от лишних отводов и прокладки дополнительных кабельных линий связи.

Леер высотной привязной телекоммуникационной платформы с оптоволоконным каналом открывает широкие возможности системам широкополосного доступа на основе гибридного соединения оптоволоконно-радиоканал (GCOP, HFR – Hybrid Fiber Radio), основные положения которого определены в Рекомендации МСЭ-Р F.1332.

Разработан стандарт беспроводных региональных сетей IEEE802.22 WRAN, описывающий двухуровневую архитектуру (уровень PHY и уровень MAC) с многоточечным (point-to-multipoint) соединением. Обмен данными по стандарту производится на «свободных» частотах VHS/UHF (54 – 862 МГц) телевизионного вещания на скорости передачи до 22Мбит/с в зоне покрытия радиусом до 100км.



Энергетическая автономность привязных высотных платформ экономически эффективно решает проблемы надёжного бесперебойного энергоснабжения аппаратуры, независимо от состояния наземной инфраструктуры. Системы связи и наблюдения оперативно разворачивается в любом месте, постоянные высотные ветра есть над всеми экономически значимыми районами и акваториями.

Новая технология высотных привязных аэродинамических платформ способна поднять и обеспечить энергией систему мобильного широкополосного доступа практически над всей поверхностью суши, кроме экватора и полюсов. Рынок беспроводных технологий к 2020 году оценивается в 4.5 триллионов USD.

Высотные привязные аэродинамические платформы позволяют вести **непрерывный мониторинг обширных территорий** в реальном времени, прибрежных акваторий, портов, морских торговых путей, воздушного пространства, государственной границы, автотрасс, трубопроводов, лесов, сельскохозяйственных полей с высоким разрешением, недоступным спутникам дистанционного зондирования Земли.

Система региональной точной навигации на базе высотных привязных аэродинамических платформ способна обеспечить предельно высокую точность позиционирования при высокой мощности навигационного сигнала, способна стать дополнением к глобальной системе спутниковой навигации (ДГНСС, СДКМ).

ITU, Международный союз электросвязи:

"HAPS представляет новую технологию, которая может революционизировать индустрию беспроводной связи".

"Глобальная система связи, на стратосферных платформах может помочь удовлетворить мировой спрос на доступные высокоскоростные беспроводные коммуникации".

ООО Гиронавтика, СПб,
gyronautica@gmail.com,
gyronautica@mail.ru,
СЕО Кузиков С.Ю.
мт.+7 911 227 1215