

ГИРОЛЁТ - летательный аппарат с инерциальным вертикальным взлётом и инерциальной вертикальной посадкой

Обзор аэродинамики ротора «воздушное колесо»
и концепции нового типа винтокрылого ЛА ИВВП.

ООО «Гиронавтика»

Россия, Санкт-Петербург

редакция 05.02.2019.

Оглавление

Предпосылки транспортной революции	2
Проблемы вертикального взлёта	3
Воздушное колесо	5
Геометрия замкнутого крыла	7
Аэродинамика воздушного колеса	8
Гиростабилизированный летательный аппарат	13
Инерциальный вертикальный взлёт	16
Инерциальная вертикальная посадка	18
Скоростной горизонтальный полёт	20
Крейсерские скорости полёта	21
Максимальная скорость	22
Устойчивость. Управляемость	23
Бесшумный летательный аппарат	24
Предельная надёжность	26
Безопасная свобода	27
Выводы	28
Источники	29

Предпосылки транспортной революции

Любая технология проходит закономерные стадии: созревания, быстрого взрывного роста, длительного эволюционного развития и закономерного угасания. Автомобиль после века триумфальной экспансии, постепенно перестаёт быть удобным, безопасным, и даже, транспортным средством. Хронический транспортный коллапс сдерживает развитие мегаполисов, бездорожье сдерживает развитие регионов. Впервые за историю мирового автомобилестроения наблюдается устойчивый спад продаж и производства в США, Евросоюзе, Японии. Мировую статистику спасает пока растущий автопром Китая.

Будущее развитие персонального транспорта за **автоматическими летательными аппаратами вертикального взлёта и посадки (ЛА ВВП)**. Транспортная ёмкость воздушного пространства на порядки превышает ограниченные возможности дорогой в строительстве и содержании дорожной сети. Создание безопасного, надёжного, всепогодного, малошумного, автоматического летательного аппарата - технически сложная задача, но более реальная, чем создание безопасного автоматического автомобиля, пытающегося двигаться по нашим дорогам, в реальных погодных условиях, в плотном потоке транспортных средств, управляемых людьми, и прочих участников движения поперёк дороги.

Мировая транспортная революция назрела и неизбежно произойдёт. Всем уже показано Будущее на экранах, есть удивление: почему оно не наступает? Перспективный рынок автоматических летательных аппаратов способен быстро и радикально изменить жизнь и экономику, превзойти объёмы автомобилестроения.

Воздушное законодательство всегда вторично, регулирует текущее состояние, но направлено на повышение безопасности, подчинено экономике. Сейчас национальные Правила использования воздушного пространства либеральны для пилотируемой лёгкой авиации в зоне G. По мере увеличения интенсивности полётов, неизбежны изменения Правил в сторону приоритета, или исключительно, для безопасных автоматических летательных аппаратов с централизованной автоматической системой управления воздушным движением.

Сотни проектов ЛА ВВП ищут пути решения транспортной проблемы. Прогресс в электронике вызывал бум активности, ещё недавно эксперименты были смертельно опасными, теперь, только, финансово рискованные. Попытки получить качественно новый результат из особой комбинации традиционных старых узлов, обречены на два исхода: обычно - неудачный, реже - традиционный.

Проблемы вертикального взлёта

Вертолёты для взлёта и полёта используют большие **несущие винты (НВ)**, является самыми энергетически эффективным из аэродинамических ЛА ВВП для режима длительного висения. Проблемы не только в низком аэродинамическом качестве горизонтального полёта. Вертолёт - технически сложный, а потому дорогой летательный аппарат, чрезвычайно сложный и в пилотировании. Высокая стоимость лётного часа, не допускает вертолёт на роль персонального ЛА.

***Стоимость лётного часа** – объективная комплексная интегральная оценка сравнения летательных аппаратов для коммерческого использования. Она отражает все параметры: стоимость аппарата и его технического обслуживания, ресурс узлов, расход топлива, надёжность, безопасность, стоимость обучения и страховки, аварийность и пр. Другие критерии и оценки (стоимость лётного километра, стоимость пассажирокилометра) арифметически легко выводятся из этого комплексного показателя.*

Электроника дала мощный импульс развития механически простым летательным аппаратам в виде разнообразных автоматических БПЛА. **Мультикоптеры** поднимаются на нескольких пропеллерах фиксированного шага. Сложно назвать полётом такое перемещение в воздухе, порочная схема энергетически неэффективна, имеет крайне низкое аэродинамическое качество. Простая схема подъёма и скольжения на простых винтах фиксированного шага, поддаётся простому управлению контроллером на малых весах и размерах, **неприемлема для масштабирования** до пассажирских перевозок. Увеличение размеров и массы упирается в системные проблемы: управление становится очень инертным, растёт чувствительность к ветру, низкий ресурс высокооборотных жёстких винтов в скоростном косом потоке, делает их крайне опасными.

Конвертопланы взлетают на винтах изменяемого шага, могут их поворачивать, летают на крыле, имеют удовлетворительное аэродинамическое качество в горизонтальном полёте, допускают масштабирование до размеров Bell V-22 Osprey. Компромиссные винты проигрывают в эффективности, и несущим, и маршевым. Плата за низкую энергетическую эффективность на режиме взлёта: большая мощность двигателей, шум перегруженных винтов, малая весовая отдача, высокая сложность конструкции при очень низкой надёжности и, в итоге, цена аппарата и стоимость полёта выше вертолетной. Чрезвычайно высокая шумность не позволяет использовать конвертопланы вблизи населённых пунктов.

Хороший летательный аппарат – летательный аппарат с высоким **аэродинамическим качеством!** ($K = \text{вес/тяга} = \text{подъёмная сила/сопротивление}$). Низкое качество большого несущего винта в горизонтальном полёте $K_{\text{max.HB}} = [7-9]$ ограничивает максимальное качество вертолётов и автожиров на уровне $K_{\text{max}} = [4-5]$, для сравнения, аналогичный показатель дозвуковых самолётов достигает 15-30.

Можно сформулировать ряд необходимых условий для построения ЛА ВВП с высоким энергетическим, весовым и аэродинамическим совершенством:

1. **Необходимо радикальное повышение аэродинамического качества несущего ротора** в скоростном полёте. Это самая важная, самая старая и самая сложная комплексная проблема. Необходимо сокращать диаметр несущего ротора и скорость вращения в полёте. Попутно решить проблемы работы в разных режимах, прочностных ограничений скорости полёта, потери устойчивости, проблему вибрации, шума, сложной кинематики управления, ...
2. **Функциональное разделение несущих и маршевых роторов неизбежно.** Чем выше аэродинамическое качество ЛА ВВП, тем выше разность необходимой тяги и скорости потока через роторы на взлёте и в скоростном полёте. Не существует универсальных винтов способных эффективно работать на таких разных режимах. Для экономичного взлёта и, особенно для, безопасной вертикальной посадки нужен большой несущий ротор с большой тягой и минимальной скоростью парашютирования, для скоростного полёта необходим малый высокоскоростной маршевый винт с большим шагом и круткой лопастей.
3. **Повышение взлётных характеристик** при сокращении диаметра несущего винта, возможно, только за счёт многократного повышения пиковой мощности на взлёте. И это, действительно возможно, в физике не существует «закона сохранения мощности», есть и строго выполняется «закон сохранения энергии». Известен способ инерциального взлёта автожиров [11]. *Режим длительного висения нужен только вертолёту для шумного сжигания топлива с нулевым коэффициентом полезного действия.* Здесь он является чемпионом, с остальными режимами полёта справляется хуже других ЛА.
4. Летательный аппарат для пассажирских перевозок, должен быть **автоматическим** – допускать выполнение всех режимов полёта (вертикальный взлёт, устойчивый полёт, мягкую вертикальную посадку) под управлением **надёжной**, то есть – алгоритмически простой системы управления.
5. Есть **ряд обязательных жёстких требований к ЛА**, он должен быть предельно: безопасным, надёжным, всепогодным, малошумным, ..., и не дорогим!

Воздушное колесо

Крылья мешают вертикальному взлёту, а несущий винт тормозит горизонтальный полёт. Необходимость вынести крыло из потока несущего винта при взлёте и снизить сопротивление ротора в скоростном полёте привела к соединению винта и крыла в одном устройстве. Гибрид похож на колесо, запатентованный ротор так и назван: **Воздушное колесо** (ВК). Несущий ротор ВК имеет одну (рис.1) или две разнесённые втулки (рис.2), соединённые натянутыми, упругими на кручение, лопастями с внешним замкнутым крылом.

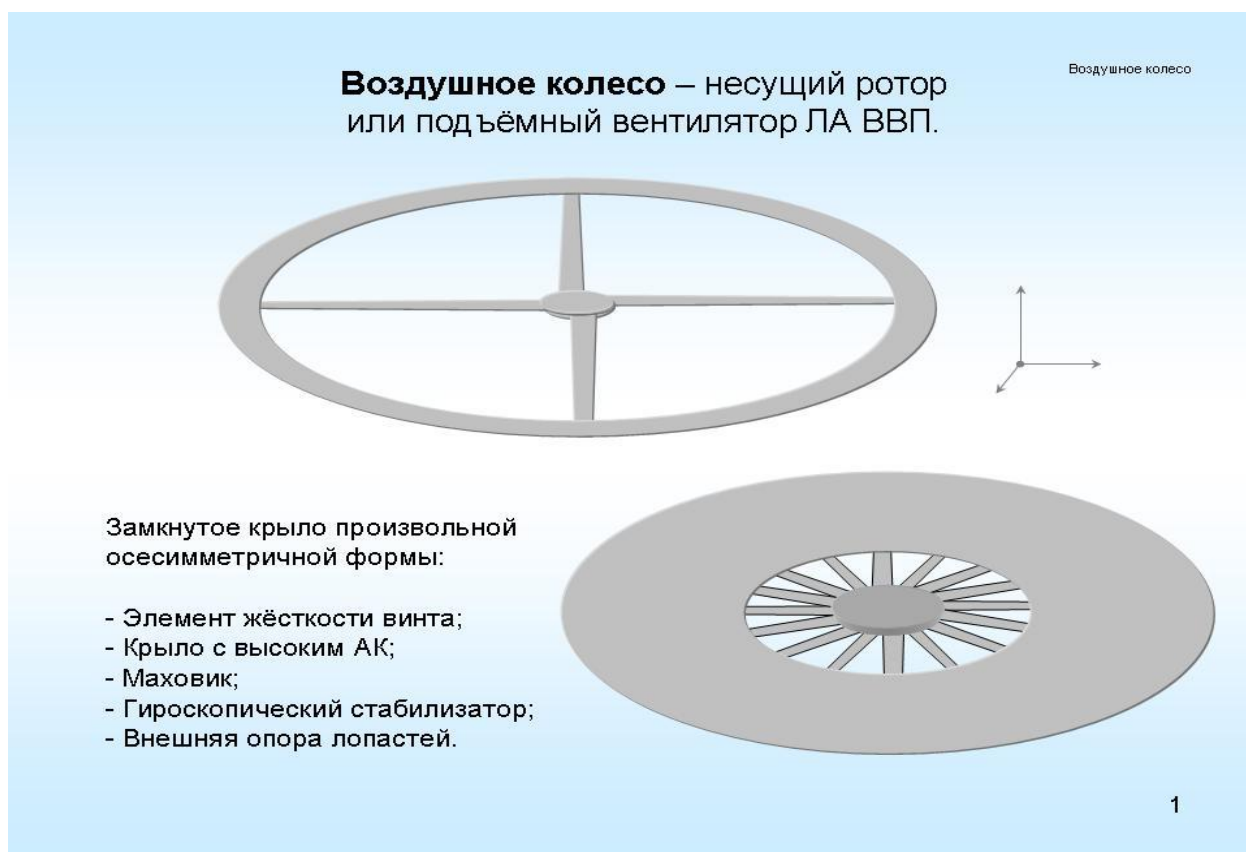


Рис. 1 Воздушные колёса с одной втулкой: несущий ротор и подъёмный вентилятор.

Замкнутое кольцообразное крыло выполняет одновременно несколько функций:

- Конструктивный элемент прочности несущего винта.
- Крыло, создающее основную подъёмную силу в скоростном полёте.
- Массивный маховик, запасаящий и выдающий энергию.
- Силовой гироскоп, стабилизирующий ЛА.
- Аэродинамический элемент гашения концевых потерь и шума.

Профилированное замкнутое крыло замыкает центробежные силы на себе и не передаёт их на втулку, соединяет внешние концы лопастей принимая знакопеременные нагрузки и моменты, действующие на лопасти.

Лопастей, как спицы, натянуты между втулкой и крылом. Концы лопастей получили опору, идеальную соконусность, исчезают низкочастотные колебания, исключены все нечётные гармоники. Внешний элемент даёт защиту лопастям от всех видов флаттера и внешних помех (веток, проводов,). Сокращаются концевые потери лопастей, исключено образование вихревых жгутов, исчезает шум.

Втулка разгружается от выламывающих нагрузок, исключены вертикальные и горизонтальные шарниры, а с ними опасные режимы и **вибрация**. Упрощается конструкция втулки, снижается масса управляемых элементов, шарнирные моменты и нагрузки в управлении шагом ротора. Возможны многороторные ЛА.

Снижено сопротивление ротора, сняты конструктивные ограничения скорости полёта. Имеем тонкое замкнутое крыло большого удлинения, натянутое центробежными силами, скоростной маховик, стабилизирующий ЛА, ёмкий накопитель энергии с мощным прямым бесшумным приводом непосредственно к лопастям, без редукторов, без трансмиссии, без реактивного момента, без длинной хвостовой балки, без рулевого винта.

Уменьшаются все потери: профильные, концевые, комлевые перетекания, неравномерность нагрузки, закрутка потока. КПД ротора приближается к «идеальному винту», на висении, на авторотации, в режиме ветряка.

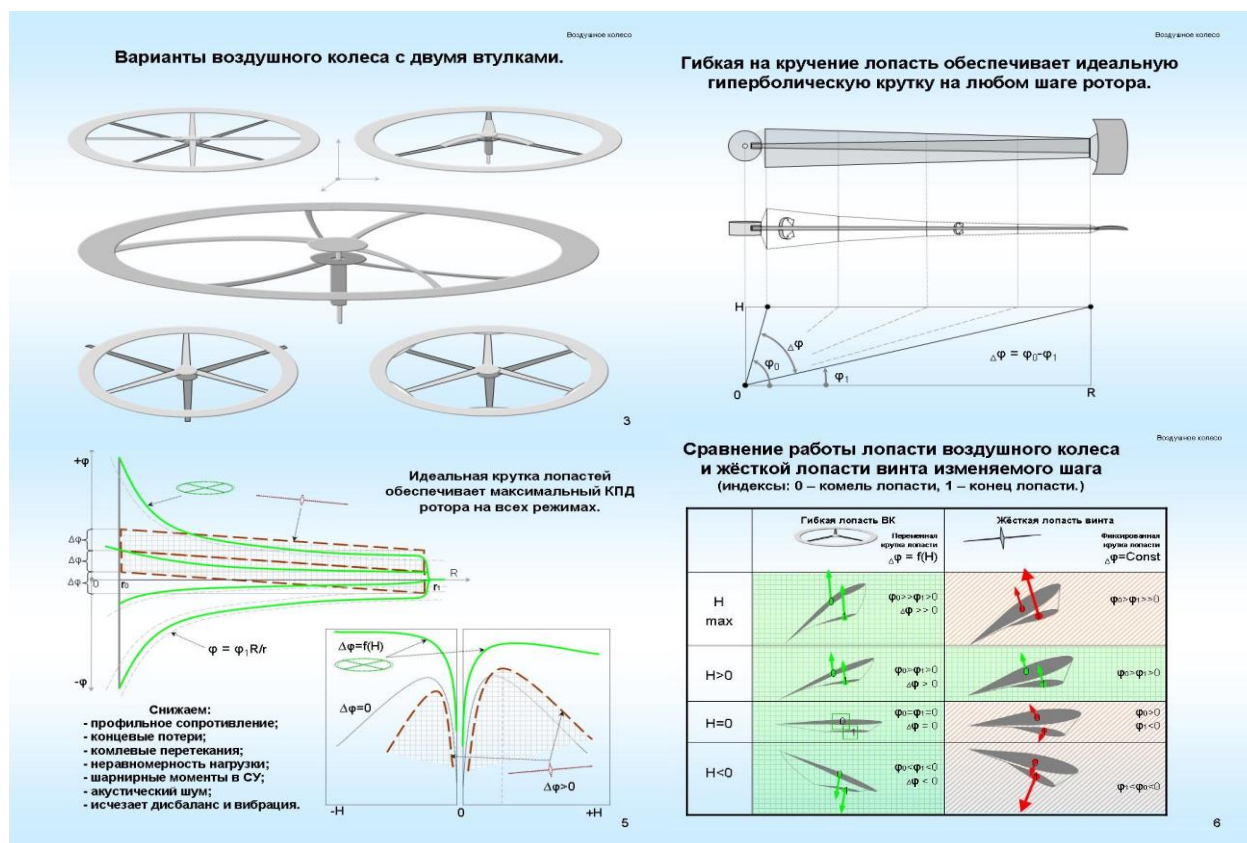


Рис.2 Воздушные колёса с двумя втулками и лопастями изменяемой крутки.

Несущий ротор воздушное колесо изменяемого шага с лопастями изменяемой геометрической крутки, способно эффективно работать на принципиально разных режимах: в пропеллерном, вертолётном, на авторотации, в режиме ветроколеса. В скоростном горизонтальном полёте воздушное колесо работает с высоким аэродинамическим качеством ($K > 20$) в промежуточном режиме скольжения на малых положительных углах атаки плоскостей роторов.

Автомеханическое **маршевое воздушное колесо** изменяемого шага с лопастями изменяемой крутки и цилиндрическим внешним крылом, позволяет обойти традиционные маршевые винты, и по эффективности, и по малошумности. Внешнее замкнутое крыло гасит концевые индуктивные потери лопастей, выполняет роль силового элемента, снимает нагрузки с втулки ротора.

Воздушное колесо допускает **прямой привод на внешнее кольцо** ротора, выполняющего роль ротора обратимой электрической машины (двигателя, генератора, электрического тормоза, противообледенительного индуктивного нагревателя крыла, дополнительной электромагнитной опоры ротора, ...). «Внешний привод» на крыло несущих воздушных колёс в двухроторной поперечной схеме улучшает аэродинамику, внутренние сегменты крыла, идущие в направлении полёта, не взаимодействуют со скоростным встречным потоком, экранированы фюзеляжем с секторным статором электропривода.

Геометрия замкнутого крыла

Профиль кольцеобразного крыла продувается в противоположных направлениях, а потому имеет симметричный обоюдоострый профиль. Профиль плоского кольца можно формировать зеркальным отображением хвостовой части крыльевого профиля, например, из плосковыпуклых профилей (Clark-Y, ЦАГИ-719, ЦАГИ-831,...). Возможны более оптимальные профили и величины конусности.

Удлинение замкнутого кольцеобразного крыла рассчитывается по известной универсальной формуле для крыльев сложной формы с переменной хордой:

$$\lambda = L / b_{\text{ср}} = L^2 / S$$

, где $L = D = 2R$ – размах, S – площадь крыла.

Для плоского кольцеобразного крыла с внешним радиусом R и внутренним r , удлинение удобнее рассчитывать через **относительную ширину кольца (r/R)**,

$$S = \pi R^2 - \pi r^2 = \pi R^2 (1 - (r/R)^2) \Rightarrow$$

$$\lambda = 4 / (\pi (1 - (r/R)^2)) \quad (1)$$

В двухроторной поперечной схеме, удлинение системы, примерно, удваивается:

$$\lambda \approx 8 / (\pi (1 - (r/R)^2)) \quad (2)$$

Приведённые формулы справедливы для расчёта удлинения крыла ВК в целом. Формально, при $(r/R) > 0.9$ **тонкое кольцообразное крыло** уже нельзя считать одним крылом с удвоенной хордой, это два отдельных крыла с большим продольным разнесом, более десяти средних аэродинамических хорд (САХ), удвоенного удлинения:

$$\lambda = 16 / (\pi (1 - (r/R)^2)) \quad (3)$$

Например, замкнутое кольцообразное крыло диаметром 2.5м шириной $b=75\text{мм}$ ($r/R=0.94$) в двухроторной поперечной схеме имеет площадь $S=1\text{м}^2$ и интегральное удлинение (2) $\lambda=11$ в тандеме из двух крыльев с удлинением $\lambda=22$.

Крыло ВК способно иметь экстремальные значения удлинения, недоступные фиксированным крыльям, которые при больших удлинениях $\lambda > 10$ теряют жёсткость, а на срывных режимах, теряют устойчивость, валяться в штопор.

Замкнутые кольцообразные крылья не боятся срывов, не теряют устойчивость, парашютируют без сваливания. Узкое крыло, натянутое центробежными силами, может иметь толщину профиля менее 10%, без ущерба для прочности. Монолитное гладкое тонкое замкнутое крыло ВК имеет **минимальное профильное сопротивление**, а экстремально большое удлинение обеспечивает ему и **минимальное индуктивное сопротивление**: $C_{xi} = C_y^2 / \pi \lambda$.

Аэродинамика воздушного колеса

Замкнутое плоское кольцообразное профилированное крыло имеет интересную аэродинамику в статике и уникальную в динамике. Кольцо условно можно разбить на четыре характерных сегмента, «передний», «задний», «отступающий» и «наступающий». Передний и задний сегменты кольца имеют, соответственно, прямую и обратную переменную стреловидность.

Компьютерная продувка **фиксированного кольца** показала: основную долю подъёмной силы эффективно создают передние и задние сегменты, образующие тандемный биплан с двумя отдельными крыльями большого удлинения с большим продольным разнесом. Боковые сегменты сокращают индуктивные потери, гасят концевые перетекания. Интегрально, фиксированное кольцообразное крыло (и на малых, относительно потока, скоростях вращения, $\mu \rightarrow 0$) максимально приближено к идеальному – эллиптическому, с высоким значением коэффициента Освальда.

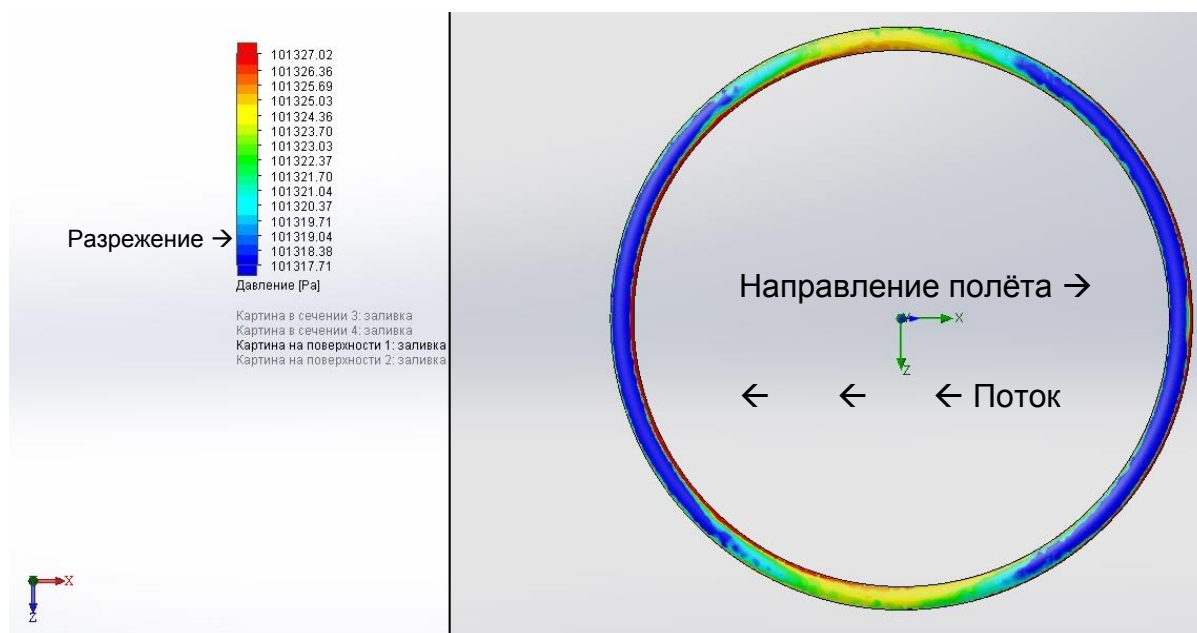


Рис.3 Подъёмная сила фиксированного кольцеобразного крыла.

Аэродинамика фиксированных и вращающихся тел имеет радикальные, качественные различия. Яркий пример - цилиндр, необтекаемый в статике, при коэффициенте вращения $\mu = v/\Omega r = [0.2 - 4.5]$, способен создавать значительную подъёмную силу $C_y = [0.2 - 0.6]$. Эффект Магнуса имеет практическое применение.

Профилированное кольцо - удобообтекаемое эффективное замкнутое крыло, в динамике особенно интересно, значится в Книге рекордов Гиннесса, как запускаемый человеком предмет с максимальной дальностью полёта (383.13м, Скотт Зиммерман, 8.7.1986г). ВК не теряет устойчивость, способно побить рекорд.

Неожиданным, неочевидным, но закономерным, был факт, что основную долю подъёмной силы **вращающегося кольцеобразного крыла**, большую, чем эффективные передние и задние сегменты (в сумме?), создаёт соединяющий их **внешний сегмент**, идущий по потоку с минимальной относительной скоростью, а, следовательно, с минимальным локальным сопротивлением трения $C_x \rightarrow 0$.

Когда линейная скорость вращения выше скорости потока ($\mu < 1$), вектор сил аэродинамического трения меняет направление, локальное сопротивление становится отрицательным $C_x < 0$. Над отступающим сегментом вращающегося замкнутого крыла образуется область высокого разрежения, при отсутствии пограничного слоя и инверсии градиента скоростей, локальный коэффициент подъёмной силы C_y в 2.5 – 3 раза превышает показатели подъёмной силы фиксированного крыла! Аналогично эффекту Магнуса и эффекту Коандэ, работает **аэродинамика управляемого пограничного слоя**.

Новые аэродинамические эффекты ВК – **«эффекты аэродинамического качения»** проявляются при обтекании потоком вращающегося замкнутого профилированного крыла аномально высокой подъёмной силой с минимальным сопротивлением, без срыва, в широком диапазоне углов атаки, чисел Рейнольдса и коэффициентов вращения $0.1 < \mu < 10$, с выраженным максимумом в районе $\mu = 1$.

*В монографии по теоретической аэродинамике [4] подробно описаны и даны ссылки на эксперименты ещё 20-х годов прошлого столетия [8], [9] с крыльевыми профилями с подвижной верхней поверхностью, меняющей направление циркуляции, где экспериментально доказано: **C_y может достигать значений ≈ 3.73 при угле атаки в 55° , а бессрывные режимы обтекания возможны на углах атаки вплоть до 105° !***

В полной аналогии с традиционным колесом, имеем новый движитель и качественно новый способ эффективного получения подъёмной силы, замену большого сопротивления трения фиксированного крыла на минимальное сопротивление **аэродинамического качения**. Аэродинамика воздушного колеса даёт возможность получения высокого **аэродинамического качества ($K = C_y / C_x$)** в устойчивом полёте на высоких скоростях. Большой запас подъёмной силы наступающих лопастей уравнивает подъёмная сила отступающего сегмента.

У ротора воздушное колесо есть **новый режим самовращения** на высокой скорости полёта с малыми углами атаки плоскости ротора, где активно участвует внешнее крыло. Это новый вид авторотации, с большим коэффициентом режима работы ротора $\mu > 1$, когда линейная скорость вращения на периферии несущего ротора ниже скорости полёта, а внутренние сегменты крыла выведены из потока, идут внутри центроплана. Самовращение поддерживает натяжение крыла, сокращает сопротивление трения. Эффект близок к известным аналогам: **роллерон, безлопастная турбина пограничного слоя или турбина Тесла.**

Воздушное колесо открывает новые применения и возможности масштабирования, способно дать новые решения проблем авиации, от минимальных до сверхзвуковых скоростей полёта. Компьютерное моделирование сложного трёхмерного обтекания вращающегося воздушного колеса сопряжено с большой сложностью и ограниченной точностью без опоры на результаты натурных испытаний. Новые аэродинамические эффекты нуждаются в углублённых экспериментальных исследованиях, точных измерениях, для построения адекватных математических моделей, оптимизации профилей и геометрических параметров аэродинамических элементов воздушного колеса.

Новые аэродинамические эффекты обнаружены экспериментально на стендах и подтверждены на летающих моделях.

Новый режим авторотации и аэродинамического качения был реализован и изучался на безмоторных привязных «гиропланерах» двухроторной поперечной схемы и на «квадроглайдерах» с четырьмя несущими воздушными колёсами. Отработка режимов полёта проводится на летающих телеуправляемых моделях.



Рис. 4 (Слева-направо, сверху-вниз) Привязные гиропланер, квадролайдер и гиролёт.

Так, летательные аппараты с роторами воздушное колесо обладают **силовой гироскопической стабилизацией** по крену и тангажу независимо от скорости полёта, сохраняет свободу поворота по курсу.

Двухроторный ЛА поперечной схемы с направлением вращения роторов, когда внешние сегменты идут по потоку, обладает и надёжной **«аэрогидродинамической стабилизацией»**. Внешние возмущения по крену автоматически парируются гироскопическими моментами прецессии, изменяющими углы атаки плоскостей роторов. Такой ЛА в полёте, с пониженной скоростью вращения несущих роторов, надёжно стабилизируется в турбулентном потоке без вмешательства пилота и системы управления.

Радиоуправляемые пилотажные модели вертолёт со сложной кинематикой управления общего/циклического шага лопастей демонстрируют экстремальную акробатику и чудеса 3D-пилотажа. Найти рациональное практическое применение этому опасному качеству пока не удаётся.

ЛА с роторами воздушное колесо, технически проще вертолёт, способен летать быстрее, дальше, дольше, демонстрирует «чудеса стабильности» в турбулентном потоке. Всепогодный ЛА ВВП с роторами ВК, **вне конкуренции для практического применения: как стабильная платформа качественной видеосъёмки, для комфортных пассажирских перевозок и т.п.**

* * *

Силовая гироскопическая стабилизация применяется для стабилизации судов (гироскопические успокоители качки), в отличие от аэродинамической стабилизации, не находится в противоречии с управляемостью, скоростные **гиродины** управляют положением орбитальной МКС массой более 417 тонн.

Возможен пилотажный ЛА с управляемым положением осей вращения двух роторов воздушное колесо в поперечной схеме. Наклон осей в поперечной плоскости (YZ) вызывает изменение угла поперечного V и вследствие прецессии роторов приводит к точному пропорциональному изменению тангажа ЛА.

Наклон осей в разных направлениях в продольных плоскостях (XY), изменяет углы атаки плоскостей роторов с точным пропорциональным изменением крена. **Силовое гироскопическое управление** происходит в полной гармонии с аэродинамическим управлением, но отличается высокой устойчивостью, не завит от скорости полёта, возможно на висении и в разряженных слоях (вне) атмосферы.

Возможен пилотажный двухроторный гиролёт «неустойчивой» поперечной схемы с лёгкими воздушными колёсами «обратного направления вращения».

Гиростабилизированный летательный аппарат

Задача создания летательного аппарата с энергетически эффективным вертикальным взлётом и безопасной посадкой в сочетании с высоким аэродинамическим качеством в скоростном горизонтальном полёте имеет красивое решение для реализации на современном уровне развития технологий.

Гиролёт – гиростабилизированный летательный аппарат с несущими роторами **воздушное колесо**. Новый тип с новыми несущими роторами, относится к виду ЛА ВВП с несущим ротором, крыльями и маршевыми винтами, в русскоязычной терминологии – **винтокрылы**, в англоязычной терминологии – **гиродины** (gyrodin, heliplan, compound gyroplane,...), с 1953 года выделены международной федерацией авиации FAI в отдельный класс E-2.

Воздушное колесо даёт широкий простор реализации разных схем гиролёта.

Однороторный гиролёт с несущим ротором ВК и маршевым винтом снимает ограничения скорости полёта вертолёта: прочностные, аэродинамические и энергетические. **Инерциальный вертикальный взлёт и посадка (IVTOL)** позволяют сократить диаметр ротора и сопротивление в скоростном полёте. Несущее воздушное колесо избавлено от вибрации, позволяет снижать обороты, не имеет прочностных ограничений скорости полёта. Ротор ВК имеет **высокое аэродинамическое качество и не теряет равновесие в скоростном полёте!** На любой скорости полёта, в широком диапазоне **коэффициента режима работы несущего воздушного колеса** $0 < \mu < 10$, запас подъёмной силы наступающих лопастей уравнивает высокая подъёмная сила отступающего сегмента крыла.

Прочное в плане воздушное колесо снимает «родовое проклятие» несущих винтов – **вибрацию**, даёт свободу проектирования ЛА ВВП многороторных схем. Возможен **двухроторный гиролёт поперечной схемы** (transverse twin-rotor gyrocraft) с двумя несущими роторами воздушное колесо и (одним или двумя) маршевыми толкающими винтами. Несущие роторы оптимизированы, исключительно, под создание подъёмной силы, специальные маршевые винты эффективно создают тягу в скоростном горизонтальном полёте.

Воздушные колёса с двумя разнесёнными втулками образуют прочный двухрядный винт с фиксированной плоскостью вращения относительно осей. Вертикальные оси вращения несущих роторов установлены жёстко на концах короткой балки крыльевого профиля с подкосами. Силовая гироскопическая стабилизация придаёт гиролёту уникальную устойчивость и всепогодность.

Гиролёт двухроторной поперечной схемы, с направлением вращения, когда внешние сегменты ротора идут по потоку, обладает устойчивой аэродинамикой, имеет ряд важных технологических преимуществ перед однороторной схемой:

- Два ротора противоположного вращения нейтрализуют реактивные моменты, допускают низкоскоростной вертолётный режим полёта без потерь мощности.
- Всепогодность обеспечивает силовая гироскопическая стабилизация ЛА, без проблем гашения вредной прецессии в однороторной схеме.
- Двухроторная поперечная схема в полёте имеет минимальное индуктивное сопротивление и высокое аэродинамическое качество,
- обладает автоматической аэродинамической стабилизацией,
- наиболее устойчива против опасного режима «вихревое кольцо».
- Два несущих ротора технически проще, имеют управление только общим шагом, освобождаются от сложного автомата перекаса.
- Упрощённая система управления, даёт возможность создания надёжного и безопасного автоматического летательного аппарата.
- Допускается ручное пилотирование гиролёта, возможен полёт без автоматики.
- Сокращаются габариты ЛА на стоянке и при транспортировке в сложенном состоянии.
- Роторы в два раза легче, в полтора раза компактнее одного, вписывается в габариты стандартного контейнера.



Рис.5 Фотография макета двухроторного гиролёта поперечной схемы.

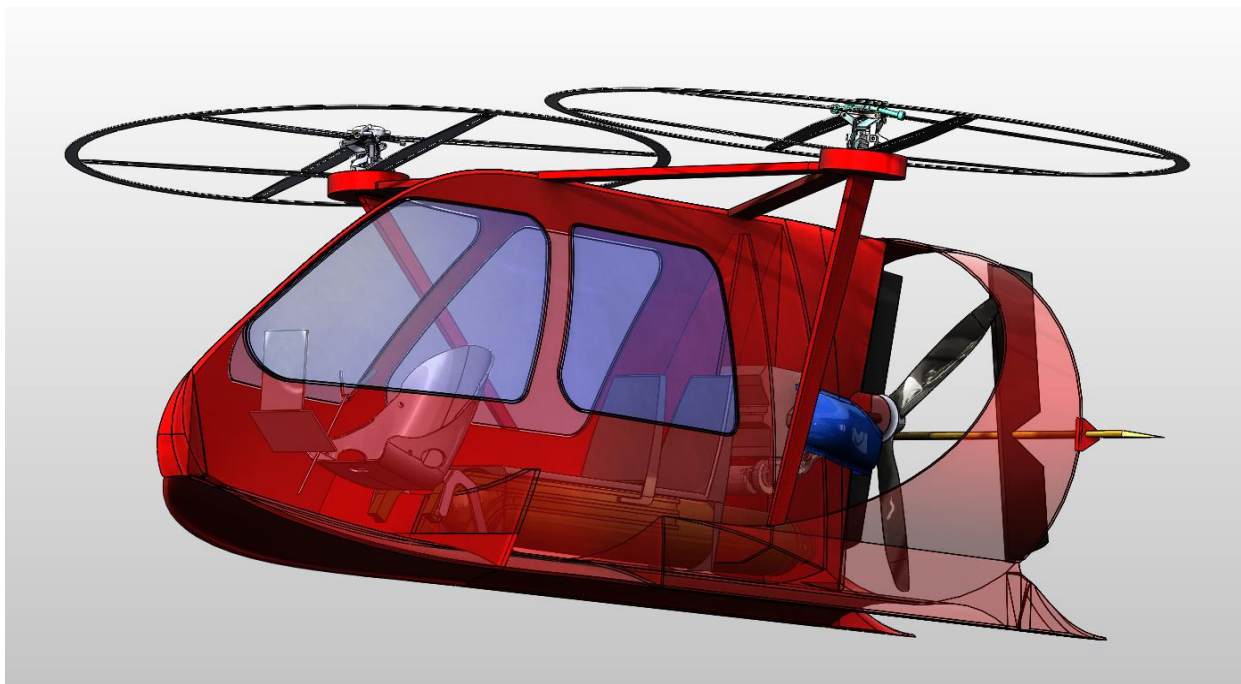


Рис.6. Двухроторный гиролёт поперечной схемы с маршевым винтом в кольцевом канале.

Предварительные проектные параметры:

Комбинированная силовая установка ДВС + ЭД.

Двигатель (варианты)	Rotax-915 (100кВт)
Мощность электрической трансмиссии	2х32 + 64 кВт
Максимальные габариты (Д*Ш*В) м.	4.86 * 5.1 * 2
Габариты в сложенном состоянии	4.86 * 1.7 * 2.7
Диаметр несущих роторов	2.5 м
Вес пустого аппарата	270 кг
Диапазон скоростей полёта	0 – 300 км/ч
Динамический потолок	3200 м
Вертикальная скороподъёмность (ср/мах)	13/50 м/с
Высота вертикального взлёта	
с минимальным весом	300 м
со взлётным весом 495кг	160 м
Пассажировместимость	0 - 2 (до 4)

Максимальный взлётный вес ограничен категорией СЛА - 495кг (600кг USA), перегруз влечёт снижение высоты инерциального вертикального взлёта и сокращение доступного диапазона скоростей полёта.

Инерциальный вертикальный взлёт

Взлёт - наиболее энергозатратный и сложный режим для всех летательных аппаратов. Вертикальный взлёт требует многократно больших энергетических затрат, чем полёт. Лучшее вертикальное взлёта вертолёт, может быть только – всепогодный, устойчивый, быстрый, бесшумный, экономичный инерциальный вертикальный подъём. Именно такой взлёт дают роторы воздушное колесо.

Воздушное колесо – ёмкий кинетический накопитель [1] высокой мощности с высоким КПД и неограниченным числом циклов заряда/разряда. Перед взлётом энергия закачивается в маховики, воздушные колёса разгоняются до высоких оборотов, тонкие лопасти установлены на шаг нулевой подъёмной силы, принимают нулевую крутку, создают минимальные потери и шум. Прочные в плане, сбалансированные колёса отличаются от шарнирных несущих винтов отсутствием вибрации. Исключен и опасный режим – «земной резонанс».

Первый этап взлёта - предварительная раскрутка воздушных колёс происходит на земле, возможна, как автономная раскрутка от силовой установки гиролёта, так и от внешнего источника электрической энергии на оборудованной площадке взлёта. Второй способ старта наиболее экономичен и бесшумен, что позволит использовать гиролёт в населённых пунктах.

Высокая механическая прочность кольца на растяжение позволяет производить раскрутку воздушных колёс до высоких оборотов, пока концы лопастей имеют дозвуковую скорость, $u_0 = \Omega R < 0.9M < 300\text{ м/с}$. Два маховика - плоские кольца, массой по 25кг, способны набрать большую кинетическую энергию:

$$A = m u_0^2 / 2 = 50\text{ кг} * (296\text{ м/с})^2 / 2 = 2.2 \text{ МДж} = 0.61 \text{ кВт*ч} \quad (4)$$

При автономном старте двигатель силовой установки ЛА мощностью 60 кВт совершает эту работу примерно за минуту, с учётом потерь. Реактивные моменты двух роторов противоположного вращения полностью компенсируются. Располагаемая энергия, при снижении от максимальных стартовых оборотов колёс u_0 , до полётных ($u_1 \sim 90 \text{ м/с}$) составляет около 90%:

$$A = m (u_0^2 - u_1^2) / 2 = 2.2 \text{ МДж} - 0.2 \text{ МДж} = 2 \text{ МДж} \quad (5)$$

Второй этап взлёта – быстрый, малошумный инерциальный подъём.

У раскрученных роторов гиролёта вся энергия подведена непосредственно к лопастям, изменяя общий шаг лопастей можем снимать высокую мощность с маховиков, независимо от мощности приводов предварительной раскрутки роторов.

Располагаемая мощность гиrolёта на старте многократно (на порядок) превышает номинальную мощность маршевой силовой установки. При относительной массе маховиков воздушных колёс $m/M=0.1$ (около 10% от взлётной массы ЛА) запасённой энергии хватает для быстрого вертикального подъёма на большую высоту H , без участия двигателя и трансмиссии, с высоким КПД η , минимальными индуктивными потерями и минимальным шумом:

$$H = \eta (u_0^2 - u_1^2) m / 2 M g = 0.5 (290^2 - 90^2) / 200 = 190 \text{ метров} \quad (6)$$

Инерциальный вертикальный взлёт возможен с большой вертикальной перегрузкой, если ограничится комфортным значением не более 2g, допустимым по нормам гражданской авиации, подъём будет длиться 15-16 секунд. Из них 3-5 сек равномерного вертикального ускорения +1g переходящие в 10-12 сек плавного разгона по крутой параболе. Есть возможность взлетать быстро, с большей перегрузкой, или плавно, комфортно, дольше.

Высокая стартовая скорость вращения роторов, позволяет получить высокие пиковые значения нагрузки на площадь и, соответственно, тяги, на относительно небольших роторах и, при близких к вертолётным, коэффициентах заполнения σ .

После отрыва от земли, подвод мощности переключается с несущих роторов на маршевый винт, взлёт гиrolёта происходит по крутой параболе. Мощность маршевого двигателя суммируется к энергетике инерциального взлёта, расходуется на быстрый набор крейсерской скорости.

Гиrolёт – единственный ЛА ВВП, не имеющий жёсткого ограничения массы полезной нагрузки и высоты базирования над уровнем моря. Он способен энергично вертикально взлетать, летать и безопасно садиться, с большой полезной нагрузкой, которую не в состоянии удерживать на длительном висении. Кратное увеличение взлётной массы, кратно снижает максимальную высоту инерциального подъёма и сокращает диапазон возможных скоростей полёта. Гиrolёт способен иметь рекордную для летательных аппаратов весовую отдачу. Ни высокогорье, ни пыльные площадки пустынь не являются помехами для надёжного и энергичного вертикального инерциального подъёма (IVTOL).

Энергии роторов достаточно для вертикального подъёма с уровня земли в условиях плотной высотной городской застройки. Парковка на крышах зданий удобна и выгодна с точки зрения энергетики, безопасности, комфорта, экологии и урбанистики. Огромный, удобный, свободный ресурс драгоценного парковочного пространства ждёт активного освоения.

Инерциальная вертикальная посадка

Всепогодная надёжная управляемая мягкая посадка в автоматическом режиме - ключевой фактор безопасности полётов над населёнными пунктами.

Жёсткие лопасти винтов имеют фиксированную крутку, оптимальную для одного фиксированного режима. Фиксированный угол установки и нулевая крутка лопастей автожира оптимальны для поддержания авторотации. Ротор автожира медленно набирает обороты, имеет низкое аэродинамическое качество и опасные режимы. Вертолётные лопасти имеют отрицательную крутку оптимальную, только, для режима висения, изменения шага значительно снижают КПД. Несущий винт вертолёта без привода быстро теряет обороты, плохо авторотирует.

Воздушные колеса изменяемого шага с адаптивными лопастями изменяемой геометрической крутки (приближенной к идеальной - гиперболической) позволяют максимально расширить рабочий диапазон с разным направлением потока, работать на принципиально разных режимах: **пропеллерном, вертолётном, в скольжении, на авторотации и в режиме ветроколеса**, всегда с равномерной нагрузкой на ометаемую площадь, без лишних индуктивных потерь, с минимальным шумом, с максимальным КПД.

Перед посадкой гироскоп снижает обороты маршевого винта, может переключить свободную мощность на разгон несущих роторов. При подлёте к выбранной точке посадки, несущие роторы ВК способны собрать, **экономно рекуперировать**, кинетическую и потенциальную энергию аппарата. Минимальные полётные обороты несущих колёс позволяют плавно изменить тангаж гироскопа, увеличить угол атаки плоскостей вращения, выставить большие отрицательные углы установки лопастям и положительную крутку, перевести роторы в режим ветроколеса, раскручивать маховики до более высоких предпосадочных оборотов.

Только несущие роторы воздушное колесо способны менять одновременно и шаг, и крутку лопастей, собирать энергию потока в режиме ветроколеса с максимально высоким КПД, накапливать большие объёмы в маховике, а затем, в вертолётном режиме возвращать лопастям ту же энергию с высокой мощностью и с минимальным шумом.

Так, кинетическая энергия тела, летящего со скоростью $v=80\text{м/с}$, равна его потенциальной энергии на высоте $h=320\text{м}$. Полная располагаемая энергия аппарата массой $M=500\text{кг}$ составит внушительную величину:

$$E = K + P = Mv^2/2 + Mgh = 1.6 \text{ МДж} + 1.6 \text{ МДж} = 3.2 \text{ МДж} \quad (7)$$

Маховики несущих роторов суммарной массой 10% полётного веса гиролёта, способны принять и накопить до 2МДж. Максимальный теоретический КПД ветроколеса $\eta=0.59$. На практике, реально собрать 1/3 от располагаемой энергии, достаточно набрать 1МДж. Воздушные колёса обеспечат необходимую энергию на 5-10 секунд малозумного вертолётного режима с высокой пиковой мощностью при средней 100-200кВт. Управляемая мягкая вертикальная посадка позволяет выбрать безопасную площадку без участия двигателя.

Автоматическая системы управления по координатам точки посадки и положения гиролёта, дублированных данными точного лазерного дальномера, с учётом полётной массы и минимальных поправок на направление и силу ветра, способна построить и точно выполнить оптимальную траекторию спуска. Если пилоту автожира удобно проводить посадку с минимальной скоростью снижения, парируя управлением порывы ветра, то электронному контроллеру гиролёта удобнее проводить снижение на более высокой скорости, с минимальной чувствительностью к случайным факторам атмосферной турбулентности.

После перевода энергии гиролёта в маховики несущих колёс, вся запасённая энергия подведена к лопастям. Воздушные колёса на высокой скорости вращения способны выдать большую мощность за короткое время, чтобы погасить скорость снижения. Перегрузка на торможении ограничена комфортным для пассажиров значением. Аэродинамика воздушных колёс в двухроторной поперечной схеме наиболее устойчива против опасности образования вихревого кольца.

Силовая гироскопическая стабилизация и большая располагаемая мощность роторов обеспечивают устойчивость гиролёта и стабильность траектории. Дифференциальное управление шагом несущих роторов вызывает поперечное смещение с минимальным креном. Небольшие корректирующие моменты тяги дают продольную коррекцию траектории к заданной точке посадки. Отклонение управляемого хвостового оперения и вектора тяги маршевого привода, обеспечивают точное выравнивание по курсу и продольную устойчивость аппарата. Точная мягкая посадка гиролёта с минимальной скоростью происходит на задние концы лыж-рессор с последующим плавным выравниванием. В шторм, только гиролёт способен прижаться к посадочной площадке или качающейся палубе, без опасности «перехлёста винтов» или «отрубания хвостовой балки».

Инерциальная посадка гиролёта – детерминированный рутинный процесс, на уровне сложности автоматической парковки автомобиля. Всепогодность и надёжность автоматической мягкой посадки - гарантия безопасности.



Рис. 7 Энергетика вертикального взлёта (VTOL) и укороченного взлёта (STOL).



Рис. 8 Энергетика инерциального вертикального взлёта (IVTOL).

Скоростной горизонтальный полёт

Гиrolёт способен иметь предельно широкий диапазон доступных скоростей горизонтального полёта в плотной тропосфере, выше других известных типов аэродинамических ЛА с той же мощностью силовой установки.

На вертолётных режимах, при малых скоростях полёта и высоких оборотах несущих роторов, в создании подъёмной силы активно участвуют лопасти воздушных колёс и толкающий маршевый винт управляемой тяги. Гиролёт на этом режиме близок к трикоптеру, но обладает более эффективной схемой с более высоким энергетическим и аэродинамическим качеством.

С увеличением скорости полёта, растёт подача мощности на маршевый винт, снижается мощность приводов на несущие роторы, поддерживаются минимальные обороты и натяжение кольцеобразного крыла. На авторотации и в скольжении воздушные колёса с работающими лопастями аналогичны сплошному крылу равной площади ометаемой роторами, в двухроторной поперечной схеме - крылу с удлинением $\lambda_{\min}=8/\pi=2.55$. В создании подъёмной силы активно участвует профилированная крыльевая балка с размахом немного более диаметра колёс.

В полёте на высокой крейсерской скорости достаточную горизонтальную тягу способен создать только эффективный маршевый винт, несущие роторы работают на малых положительных углах атаки, в режиме аэродинамического скольжения снижают скорость вращения, лопасти разгружаются, выполняют роль подвижных управляющих элементов, а подъёмную силу создают фиксированное крыло-балка и узкие тонкие кольцеобразные крылья большого удлинения, натянутые центробежными силами. Гиролёт поперечной схемы в полёте – сложный полиплан.

Крейсерские скорости полёта

Площадь внешнего замкнутого крыла ВК задаётся оптимальной, из расчёта полёта на угле α_{\max} максимального аэродинамического качества на высокой крейсерской скорости. У самолётов и других ЛА, полёт с углом атаки крыла $\alpha < \alpha_{\max}$ (I режим) и $\alpha > \alpha_{\max}$ (II режим) смыкаются в одной точке на диаграмме Жуковского (Пено). Воздушное колесо способно «выключать лопасти», снижать скорость вращения, в 10 раз сокращают эффективную площадь опоры в полёте, при этом в 10 раз растёт удлинение крыла. Во всём этом широком диапазоне несущая система гиролёта работает с углом максимального аэродинамического качества $\alpha = \alpha_{\max}$. **Гиролёт имеет наиболее широкий диапазон экономичных скоростей полёта** (до 70%-80% от доступных), от скорости максимального времени полёта, до, в 3-3.5 раза более высокой крейсерской скорости полёта на максимальную дальность. Форсированный I-режим скоростного полёта и вертолётный II-режим далеко разнесены за пределы широкого диапазона экономичных скоростей гиролёта.

Максимальная скорость

ВК снимает прочностные и аэродинамические ограничения увеличения скорости полёта гиролёта, скорость ограничена тягой маршевой силовой установки. Аэродинамику гиролёта поперечной схемы портят втулки роторов и электроприводы раскрутки. Секторный электропривод ВК может быть размещён внутри фюзеляжа, так **выводится из потока наступающий сегмент крыла**, сокращается профильное сопротивление, поднимается аэродинамическое качество. Компактная втулка тоже имеет резервы сокращения сопротивления, используются обтекаемые аэродинамические тарелки и обтекатели вала.

Попытка увеличить максимальную скорость полёта, попытаться ещё сократить сопротивление, заменить тонкое гладкое замкнутое крыло ВК с малым сопротивлением аэродинамического качения, на фиксированное крыло с механизацией равной площади и удлинения с более высоким трением скольжения – малоперспективна, зависит от конкретного исполнения и абсолютно непрактична. В результате получим уже не самолёт, а крылатую ракету с минимальным крылом и крайне узким диапазоном скоростей полёта, не способную взлетать и приземляться.

Прочное Воздушное колесо с двумя разнесёнными втулками позволяет гиролёту на высокой скорости полёта снижать скорость вращения роторов. Отношение скорости полёта к линейной скорости вращения концов лопастей выражает **коэффициент режима работы несущего винта $\mu = V/\Omega R$** .

Вертолёты летают с $\mu < 0.35$, винтокрыл CarterCopter [11] с большим фиксированным крылом и двухлопастным несущим винтом с массивными лопастями способен летать на режиме $\mu = 0.87$. Воздушные колёса гиролёта допускают большие коэффициенты режима работы ротора $\mu > 3$, когда линейная скорость вращения на периферии ВК в разы ниже скорости полёта.

Отсутствие у воздушного колеса системных ограничений увеличения скорости: вибрации, прочностных ограничений, опасности потери устойчивости, в сочетании с высоким аэродинамическим качеством на высоких скоростях полёта, позволяет говорить о гиролёте, как о **самом эффективном ЛА** с заданной мощностью силовой установки (причём, не только среди ЛА ВВП) **для скоростных полётов в плотной тропосфере**.

Устойчивость

При высоких оборотах роторов воздушное колесо доминирует силовая гироскопическая стабилизация, маховики гасят знакопеременные возмущения, обеспечивают всепогодность гиrolёта на взлёте, при посадке и на малых скоростях полёта. Силовая гиростабилизация крена и тангажа оставляет свободу управления по курсу с малым моментом инерции.

Высокую устойчивость двухроторного гиrolёта поперечной схемы в горизонтальном полёте обеспечивает уже **«автоматическая аэрогиродинамическая стабилизация»**, в широком диапазоне скоростей вращения роторов. Внешние возмущения по крену автоматически парируются гироскопическими моментами прецессии, изменяющими углы атаки плоскостей роторов. Гиrolёт в турбулентном воздушном потоке надёжно стабилизируется без вмешательства пилота и системы управления.

Управляемость

Дифференциальное управление общим шагом несущих роторов обеспечивает поперечное управление гиrolёта, и линейное, и угловое. Причём, на низкой скорости полёта при высоких оборотах роторов происходит боковое смещение ЛА с минимальным креном, что удобно при выполнении точной посадки.

На высокой скорости полёта при низких оборотах ротора, происходит эффективное управление по крену одновременно с согласованным изменением углов атаки плоскостей вращения несущих роторов. Небольшие упругие деформации прочного ротора и крыла дают точные дозированные изменения углов атаки. Крен позволяет сократить радиусы горизонтального манёвра, совершать устойчивые скоординированные повороты, а также совершать форсированные повороты, с внешним скольжением на развитой боковой поверхности.

Управляющие вертикальные плоскости хвостового оперения в потоке маршевого винта эффективно обеспечивают курсовое управление независимо от скорости полёта, позволяет точно выдерживать курс на крутом парашютировании и совершать повороты на висении.

Продольное управление и равновесие обеспечивает горизонтальный полноповоротный стабилизатор в потоке толкающего маршевого винта. Высокая эффективность ГХО в скоростном потоке, компенсирует малое плечо, позволяет устойчиво летать с большим диапазоном допустимой центровки.

Бесшумный летательный аппарат

Акустическое загрязнение среды - важное и пока не преодолимое препятствие для широкого использования ЛА вблизи населённых пунктов. Законодательно вводятся всё более жёсткие нормы и временные ограничения.

Взлёт – наиболее энергозатратный и потому самый шумный режим для всех без исключения летательных аппаратов. Это и шум горелки аэростата, и рёв турбин и винтов самолётов. Закономерно, самыми шумными являются ЛА ВВП. Перегруженные маршевые винты, подъёмные вентиляторы, реактивные сопла - многократно шумнее больших несущих винтов.

Все винты порождают мощные вихревые жгуты на концах открытых лопастей. Толстые передние кромки атакующих лопастей НВ при косом обтекании дают характерные скачки уплотнения. Вертолёты шумны, не столько из-за мощных газотурбинных двигателей, положение плоскостей вращения несущего ротора и рулевого винта вызывает активную интерференцию, шумы умножаются, их диаграмма направлена по курсу к земле. Приближение вертолёт слышно за 15 км!

Многолопастное воздушное колесо радикально снижает ВСЕ факторы шумообразования. Внешнее замкнутое крыло исключает образование вихревых жгутов на концах лопастей. При положительном угле атаки плоскостей вращения воздушных колёс, диаграмма направленности **минимальных шумов** разгруженных тонких лопастей идёт по курсу вверх, **не направлена к земле.**

Инерциальный подъём энергетически эффективен, скоротечен, малошумен. В населённых пунктах бесшумный запуск гиролёта возможен из компактных ветро- и шумо-защищённых площадок (коробок) на крышах зданий, без участия маршевой силовой установки, от энергии кабеля внешнего электропитания. Взлёт с крыш не требует высоких оборотов подъёмных малошумных многолопастных роторов. **Самые частые, короткие внутригородские перелёты, могут проходить бесшумно на аккумуляторах.** Маршевая силовая установка и маршевый винт гиролёта задействуются на полную мощность, только в скоростном полёте на большую дальность, уже на достаточно большой высоте. Малошумный многолопастной маршевый винт работает в шумогасящем кольцевом канале, в спокойном осевом потоке, невозмущённом несущими роторами.

Инерциальная вертикальная посадка гиролёта бесшумна, как у автожира, проходит без активного участия маршевой силовой установки.

Гиролёт - малошумный ЛА на всех режимах полёта.

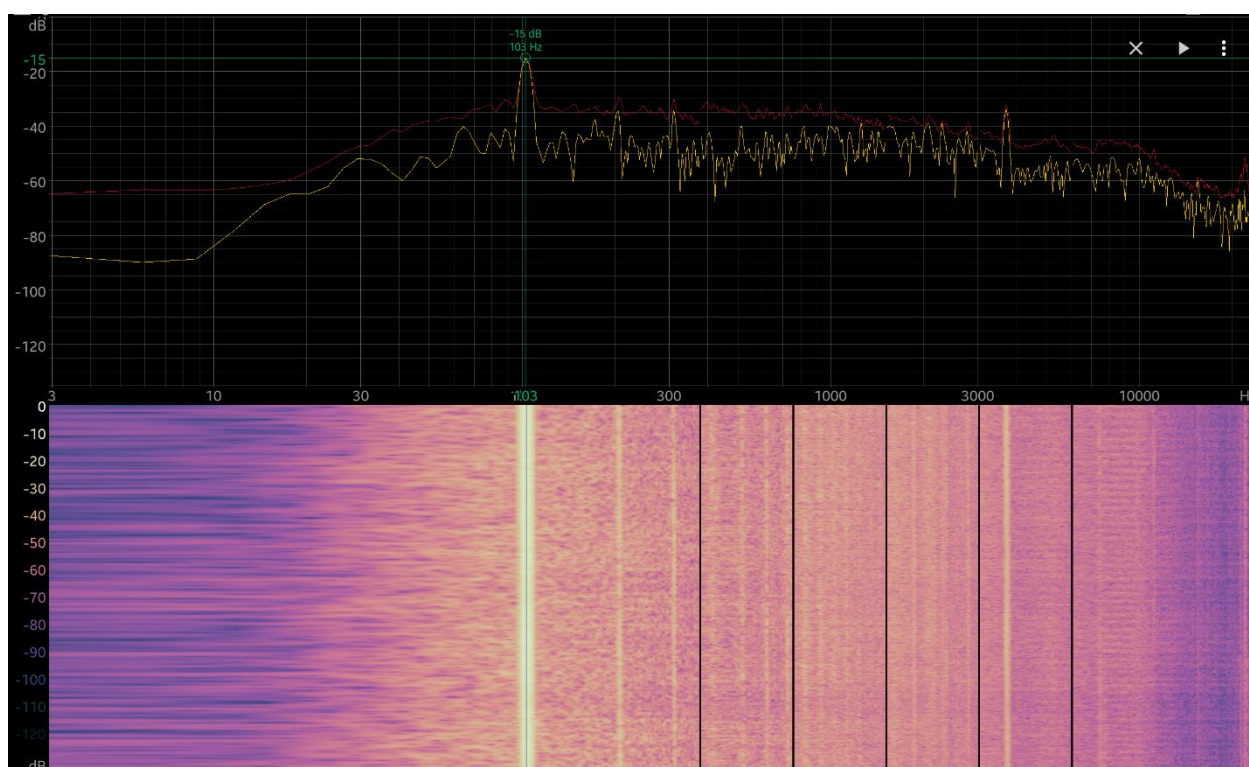


Рис.9 Спектр шума двухлопастного винта имеет характерную доминанту.

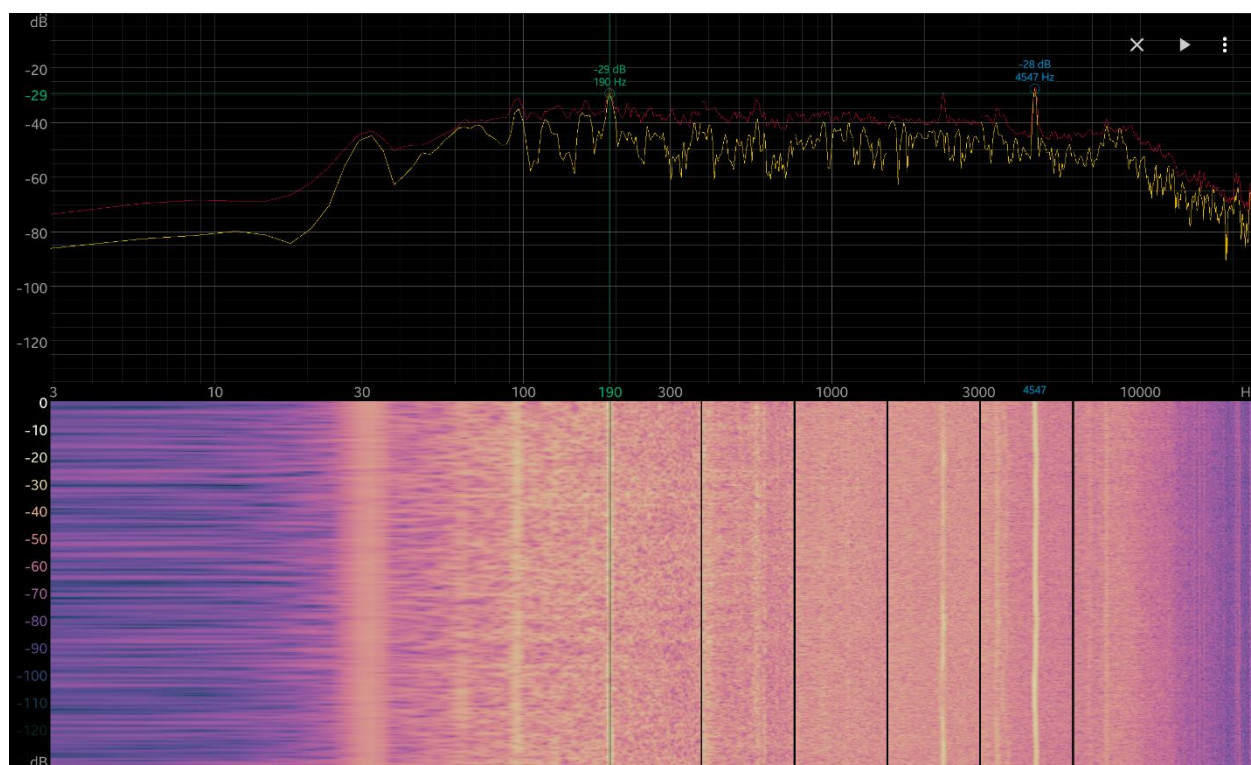


Рис.10 Ровный спектр шума шестилопастного Воздушного колеса ниже шума электропривода.

Предельная надёжность

Моноблочный несущий автомеханический ротор воздушное колесо с изменяемым общим шагом прочнее, проще и надёжнее вертолётных несущих винтов с шарнирным креплением лопастей и сложной кинематикой управления общего и циклического шага. В отличие от двухлопастных роторов, ВК не имеет опасных режимов в полёте. Лопастей колёс защищены от веток и проводов.

Предельно высокая конструктивная живучесть гиролёта с прочными несущими колёсами и дублированной системой их управления, обусловлена отсутствием иных узлов и систем критической категории, выход из строя которых делает продолжение полёта и управляемую мягкую посадку невозможными. Гиролёт обладает максимально высокой конструктивной безопасностью, не нуждается в дополнительных тяжёлых, громоздких и малоэффективных пиропарашютных системах аварийного спасения.

Форсированные режимы силовой установки наиболее аварийноопасны. У гиролёта максимальная мощность в широком диапазоне скоростей вращения подводится на несущие роторы только перед взлётом, на земле, от внешнего кабеля электропитания. В воздухе на всех режимах полёта приводы несущих колёс только поддерживают обороты на минимальной мощности. В полёте нет форсированных режимов силовой установки. На опциональном вертолётном режиме полёта, даже при порывистом ветре, подвод мощности постоянный, соответствует номинальной.

На современном уровне развития технологий, электрическая трансмиссия вытеснила иные виды трансмиссий сначала в крупнотоннажном флоте, а теперь, активно наступает в автомобиле- и авиастроении. Электрическая трансмиссия удобна в управлении, успешно конкурирует со сложной механикой по весу, стоимости, ресурсу и по важнейшему параметру - надёжности.

Надёжный электромотор имеет большой диапазон скорости и направления вращения, позволяет использовать простые надёжные маршевые **винты фиксированного шага**, даёт аварийное торможение реверсом и «задний ход».

Использование электрической трансмиссии в сочетании с ёмкими аккумуляторами, позволяющими продолжать полёт без участия маршевой силовой установки, дополняет высокий уровень конструктивной надёжности и безопасности, позволяет сертифицировать гиролёт для полётов над населёнными пунктами.

Безопасная свобода

Человеку свойственно ошибаться, уставать, отвлекаться, терять самоконтроль, сознательно нарушать строгие правила. Человеческий фактор – основная причина аварийности в авиации, как и в целом на транспорте.

Жизнь человека слишком дорога, чтобы взваливать сложное управление и всю ответственность за неизбежные ошибки на пилота. Тотальная автоматизация всех этапов пилотирования в «большой авиации» позволила достичь высокой безопасности авиасообщений. В перспективе речь идёт о полном устранении операторов из кабин поездов, авиалайнеров, транспортных судов. Профессиональный пилот на борту сверхлёгкого летательного аппарата – лишний пассажир, фактор неопределённости, кратное повышение стоимости полёта, противоречит концепции персонального транспорта.

Автоматическая система управления и точное позиционирование позволяют исключить главный фактор неопределённости в рутинной операции перемещения грузов и пассажиров над землёй по прямой траектории из точки А в точку Б. Устойчивый и всепогодный гиролёт способен выполнять все режимы полёта полностью в автоматическом режиме до точки назначения в строгом соответствии с безопасным полётным планом централизованной системы управления.

Всепогодный гиролёт предельно удобен в использовании и в ручном пилотировании. Силовая гироскопическая и аэродинамическая стабилизация с полётным контроллером надёжно выполняют свою работу, поддерживают стабильный тангаж и крен, обороты роторов, высоту и скорость полёта. Пассажирам доступны: **навигатор** с указателем точки посадки и **кнопка «Взлёт»**.

Пока законодательство даёт свободу пилотируемой малой авиации, владельцам свидетельства частного пилота (PPL), прошедшим краткое обучение, доступно управление по курсу (руль) и две кнопки (+/-) смены высоты/эшелона полёта. На любом этапе полёта автопилот способен вернуть аппарат домой или в выбранную точку назначения, произвести точную мягкую посадку.

Управление «летающим автомобилем» предельно простое и безопасное! Отсутствие возможности исполнять фигуры высшего пилотажа, исключает воздушное хулиганство и ошибки пилотирования, гарантирует безопасный и максимально комфортный полёт.

Возможно удобное перемещение по воздуху, экономичнее, быстрее, комфортнее и безопаснее, чем передвижение по поверхности земли.

Выводы

1. Автоматический летательный аппарат для пассажирских перевозок должен обладать полным набором необходимых качеств: безопасностью, надёжностью, всепогодностью, малошумностью, энергетически эффективным вертикальным взлётом, высоким аэродинамическим качеством в скоростном горизонтальном полёте, автоматической безмоторной мягкой вертикальной посадкой.

Ни один из известных альтернативных проектов ЛА ВВП не обладает необходимыми качествами в полной мере, даже, по отдельности.

2. **Гиrolёт** - новый тип ЛА с инерциальным ВВП (IVTOL) с высоким аэродинамическим качеством, весовым и энергетическим совершенством, **наиболее эффективный летательный аппарат** для скоростных полётов в плотной тропосфере.

Гиrolёт способен обеспечить полёт: комфортный, безопасный, надёжный, быстрый, экономичный, малошумный и экологически чистый.

3. Инновационный ротор **воздушное колесо открывает возможности развития** новой безаэродромной авиации: персональной, малой, большой, транспортной. Реально: значительно (вполовину) сократить наземный трафик, смертность населения в автокатастрофах, потери экономики от транспортного кризиса. Земля должна стать более безопасным и экологически чистым пространством для комфортной жизни и передвижения людей пешком, на велосипедах и т.п.

4. Аэродинамика воздушного колеса представляет большой теоретический и практический интерес. Новые аэродинамические эффекты нуждаются в углублённых исследованиях для построения адекватных моделей аэродинамических расчётов, оптимизации геометрии элементов воздушного колеса.

5. **Мировая транспортная революция назрела и неизбежна.**

Дата и место торжественного события зависит от условий и ресурсов.

Будущее не наступит само, с 2015 года его создаёт компания «Гиронавтика».

Проекту нужна помощь ФГУП «ЦАГИ» и поддержка государства.

Источники

1. Бут Д.А., Алиевский Б.Л., Мизюрин С.Р., Васюкевич П.В. Накопители энергии. М. Энергоатом, 1991.
2. Вильгрубе Л.С. Вертолёты. Расчёт интегральных аэродинамических характеристик и лётно-технических данных. М. Машиностроение, 1977.
3. Джонсон У. Теория вертолёт. В 2-х книгах. Пер. с англ. М.: Мир, 1983.
4. Карачевский Г.И. Аэродинамика. Физические основы подъёмной силы и аэродинамического сопротивления материальных тел. ИПХФ РАН, 2010.
5. Курочкин Ф.П. Проектирование и конструирование самолётов с вертикальным взлётом и посадкой. М. Машиностроение, 1977.
6. Миль М.Л., Некрасов А.В., Браверман А.С., Гродко Л.Н., Лейканд М.А. Вертолёты. Расчет и проектирование. Тома 1,2. М. Машиностроение, 1966.
7. Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Радин А.С. Вертолёты. Выбор параметров при проектировании. М. Машиностроение, 1976.
8. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. М. Наука, 1964.
9. Современное состояние гидродинамики вязкой жидкости. Тома 1,2. М. Иностранная литература, 1948.
10. Rosenthal G., Krone N.J., Carns R.A. A special mission V/STOL transport aircraft study. "AIAA Pap.", 1988, № 4477, 1-9
11. https://en.wikipedia.org/wiki/Carter_PAV#Operation
<https://en.wikipedia.org/wiki/CarterCopter#Takeoff>
12. Патент РФ на группу изобретений №2538737 от 21.11.2014, опуб. 10.01.2015.
«Ротор “воздушное колесо”. Гиростабилизированный летательный аппарат и ветроэнергетическая установка, использующие ротор “воздушное колесо”, наземное/палубное устройство запуска».
Заявки на патенты в США, Евросоюзе, Китае, Канаде.

* * *

Gyronautica LLC
CEO Кузиков С.Ю.
www.gyronautica.ru
gyronautica@gmail.com
gyronautica@mail.ru