

Игорь Азарьев

---

*МАШУЩИЙ  
ПОЛЁТ. МИФЫ  
И РЕАЛЬНОСТЬ*

---



Игорь Азарьев

**Машущий полёт.  
Мифы и реальность**

«Издательские решения»

**Азарьев И.**

Машущий полёт. Мифы и реальность / И. Азарьев —  
«Издательские решения»,

ISBN 978-5-44-962287-7

В книге представлены исследования автора общих вопросов машущего полёта, а также теоретические исследования сил и моментов, действующих на машущее крыло.

ISBN 978-5-44-962287-7

© Азарьев И.  
© Издательские решения

## Содержание

ДЕДАЛ И ИКАР	6
ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МАШУЩЕГО ПОЛЕТА	8
Бионика в авиации	9
Сравнительная оценка КПД махолёта, самолёта и птицы	12
Почему птицы летают а лошади нет	15
Конец ознакомительного фрагмента.	19

# Машущий полёт. Мифы и реальность

**Игорь Азарьев**

*Per aspera ad astra*

*Через тернии к звездам*

© Игорь Азарьев, 2019

ISBN 978-5-4496-2287-7

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

## ДЕДАЛ И ИКАР

Овидий, «Метаморфозы» (1 век до н. э.)

Величайшим художником, скульптором и зодчим Афин был Дедал, потомок Эрехтея. О нем рассказывали, что он высекал из белоснежного мрамора такие дивные статуи, что они казались живыми. Много инструментов изобрел Дедал для своей работы; им были изобретены топор и бурав. Далеко шла слава о Дедале.

*Много дивных произведений искусства изготовил Дедал для царя Крита. Он выстроил для него и знаменитый дворец Лабиринт, с такими запутанными ходами, что раз войдя в него, невозможно было найти выхода.*

*Не хотел отпустить его царь с Крита; только один хотел он пользоваться искусством великого художника. Словно пленника, держал Минос Дедала на Крите. Дедал долго думал, как бежать ему, и, наконец, нашел способ освободиться от критской неволи.*

*Если не могу я, – воскликнул Дедал, – спастись от власти Миноса ни сухим путем, ни морским, то ведь открыто же для бегства небо! Вот мой путь! Всем владеет Минос, лишь воздухом не владеет он!*

*Принялся за работу Дедал. Он набрал перьев, скрепил их льняными нитками и воском и стал изготовлять из них четыре больших крыла. Пока Дедал работал, сын его Икар играл около отца. Мальчик беспечно резвился, его забавляла работа отца. Наконец, Дедал кончил свою работу; готовы были крылья. Дедал привязал крылья за спину, продел руки в петли, укрепленные на крыльях, взмахнул ими и плавно поднялся на воздух. С изумлением смотрел Икар на отца, который парил в воздухе, подобно громадной птице. Дедал спустился на землю и сказал сыну:*

*Слушай, Икар, сейчас мы улетим с Крита. Будь осторожен во время полета. Не спускайся слишком низко к морю, чтобы соленые брызги волн не смочили твоих крыльев. Не подымайся и близко к солнцу: жара может растопить воск, и разлетятся перья. За мной лети, не отставай от меня.*

*Отец с сыном надели крылья на руки и легко понеслись. Те, кто видел их полет высоко над землей, думали, что это два бога несутся по небесной лазури. Часто оборачивался Дедал, чтобы посмотреть, как летит его сын. Они миновали уже острова Делос, Патрос и летят все дальше и дальше.*

*Быстрый полет забавляет Икара, все смелее взмахивает он крыльями. Икар забыл наставления отца; он не летит уже следом за ним. Сильно взмахнув крыльями, он взлетел высоко под самое небо, ближе к лучезарному солнцу. Палящие лучи растопили воск, скреплявший перья крыльев, выпали перья и разлетелись далеко по воздуху, гонимые ветром. Взмахнул Икар руками, но нет больше на них крыльев. Стремглав упал он со страшной высоты в море и погиб в его волнах. Дедал обернулся, смотрит по сторонам. Нет Икара. Громко стал звать он сына: – Икар! Икар! Где ты? Откликнись!*

Нет ответа. Увидал Дедал на морских волнах перья из крыльев Икара и понял, что случилось. Как возненавидел Дедал свое искусство, как возненавидел тот день, когда задумал спастись с Крита воздушным путем!

А тело Икара долго носилось по волнам моря, которое стало называться по имени погибшего Икарийским (Часть Эгейского моря между островами Самосом, Паросом и берегом Малой Азии). Наконец, прибили его волны к берегу острова; там нашел его Геракл и похоронил.

Дедал же продолжал свой полет и прилетел благополучно в Сицилию. Там он поселился у царя Кокала. Долго жил Дедал в Сицилии. Последние же годы провел на родине, в Афинах; там стал он родоначальником Дедалидов, славного рода афинских художников.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*«Человек полетит, опираясь не на силу своих мускулов,  
а на силу своего разума» Н.Е. Жуковский*

Природа создала птиц для полета, и все строение тела, вся совокупность их условных и безусловных рефлексов служат этой цели. Воздушный океан – это среда обитания птиц. За миллионы лет эволюции птицы методом случайного перебора вариантов и естественного отбора смогли приспособиться к жизни в воздушном океане.

Человек создан и оптимизирован в процессе эволюции для передвижения по земле, все строение его тела, стереотипы движений, вестибулярный аппарат и другие системы служат для этой цели. Поверхность земли – это среда его обитания. Не только строение тела, но и отсутствие условных и безусловных рефлексов, навыков и стереотипов препятствовало завоеванию воздушного океана.

Человек, используя силу своего интеллекта, всю совокупностью знаний и опыта предыдущих поколений, начал осваивать воздушный океан, и не далек тот час, когда первые махолеты поднимутся в небо, открывая эру машущего полета.

Начать эту книгу мне хотелось бы с истории машущего полета, но таковой в настоящее время нет. История машущего полета должна начинаться с первых шагов, приведших к первому пилотируемому полету, как, например, история самолетов начинается с первых полетов братьев Райт. Многочисленные неудачные попытки выполнения машущего полета и экзотические конструктивные решения, в том числе и рисунки гениального Леонардо Да Винчи, не могут быть включены в историю пилотируемого махолета, и здесь не рассматриваются.

Ниже представлены материалы автора, напечатанные в различных журналах, посвященные проблемам машущего полета, а также исследованиям аэродинамики машущего полета. Работа над книгой продолжается, и по мере подготовки последующие издания будут пополняться новыми материалами. Автор надеется, что эти исследования помогут энтузиастам машущего полета избежать ошибок и разочарований в этой нелегкой работе и приблизить время первого полета махолета с человеком на борту.

## ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МАШУЩЕГО ПОЛЕТА

Когда человек взглянул на небо с целью его освоения, то первой мыслью было: научиться летать как птица. Первые энтузиасты пытались сделать крылья, подобные крыльям птицы, и полететь как птица. Все эти попытки оказались неудачными, а специальные исследования показали, что иными они не могли быть.

Сначала определимся, что же означает слово махолет.

**Махолет – это пилотируемый летательный аппарат, у которого подъемная сила и тяга возникает за счет взмахов крыльями.**

Итак, машущий полет с человеком на борту – реальность или беспочвенная фантазия. Из множества проблем, связанных с осуществлением такого полета, рассмотрим основные:

1. Почему?
2. Каким способом?
3. Какие преимущества?
4. Для кого?

Первая реакция обычного гражданина Украины при этом слове: только махолета нам и не хватает. Конечно, для страны, находящейся в таком сложном положении как Украина, даже слово махолет может вызывать недоумение и раздражение. Чтобы занять достойное место в мире Украина должна предложить не только сало или продукцию черной металлургии, но, прежде всего, наукоемкую продукцию, среди которой махолет может найти свое место.

**Что нам стоит махолет построить?** Вот уже не одну сотню лет энтузиасты пытаются построить махолет и все напрасно. Махолет оказался крепким орешком. Исследования показали, что для практического создания махолета необходимо проведение специальных научных исследований и разработка новейших методик и процессов на базе современных достижений науки и техники. В сарае махолет не построишь, для этого необходимы современные компьютеры, станки и оборудование. Создатели махолета должны уметь генерировать новые идеи на базе высочайшего профессионального опыта работ в авиационной отрасли.

Например, для проведения аэродинамических расчетных исследований потребовалось разработать принципиально новую математическую модель летательного аппарата и создать пакет программ, позволяющий моделировать полет махолета с помощью компьютера.

Энтузиасты машущего полета верят в необычайную экономичность этого летательного аппарата. Специальные исследования этой проблемы, проведенные автором, показали, что махолет будет уступать по экономичности самолету с похожими параметрами почти в два раза, будет иметь небольшую скорость полета, высокую стоимость. Полет на махолете будет напоминать поездку на лошади, мчащейся галопом. Техника пилотирования махолета достаточно сложная, для разбега потребуется длинная взлетно-посадочная полоса и т. д.

Итак, топлива не сэкономишь, мешок картошки из глубинки на базар не привезешь, и даже девушку не покатаешь. Кому он такой нужен? Сегодня в мире сотни тысяч летательных аппаратов бороздят воздушное пространство в любительских, спортивных целях или для удовольствия, не принося никакой прибыли их владельцам. Махолет – это необычно, это интересно, это увлекательно, значит это нужно.

**Кому нужно?** Прежде всего населению высокоразвитых стран с высоким уровнем жизни, таким, как США, Западная Европа, Япония.

Наука и техника развиваются по своим законам, и остановить прогресс невозможно. Большинство энтузиастов машущего полета пытаются копировать достижения Природы для создания махолета, поэтому рассмотрим **проблемы использования бионики в авиации.**

## Бионика в авиации

100 лет назад самолет братьев Райт совершил свой первый полет. С тех пор авиация достигла замечательных успехов. Человек создал разнообразные летательные аппараты от дирижабля до космических ракет, от планеров до межконтинентальных лайнеров.

Но одна мечта человечества осталась неосуществленной – это создание пилотируемого махолета, который мог бы летать подобно птице без пропеллера, создавая подъемную силу и тягу за счет взмахов крыльями.

Столько сил было потрачено энтузиастами во всем мире и все безрезультатно. Махолет оказался крепким орешком. Но птицы летают, и делают это превосходно.

### **В чем же дело?**

Читая многочисленную литературу по проблемам машущего полета, я хотел бы высказать следующую крамольную мысль: изучение механизмов и принципов полета насекомых и птиц конечно интересно, но ничего не дает для создания махолета.

Дело в том, что у Природы и Человека разные элементная база и технологические возможности.

В распоряжении Природы имеется ограниченный набор элементов: живые клетки, способные выполнять различные функциональные обязанности, кости, сухожилия для сбора и передачи усилий от мускульных клеток к костям, суставы, обеспечивающие взаимную подвижность, нервная система, способная управлять каждой клеткой организма. Природа освоила чрезвычайно экономичные процессы превращения и использования энергии. Используя метод проб и ошибок с помощью законов генетики и естественного отбора, за миллионы лет Природа на своей элементной базе создала удивительные формы живых существ, превосходно приспособленных к самым различным, в том числе и экстремальным, условиям жизни.

У человека совершенно иная элементная база. Это легкие и прочные материалы, совершенные механизмы, устройства для использования и превращения энергии, быстро развивающиеся информационные системы и, это главное, накапливающийся опыт и знания, доступные каждому участнику человеческого сообщества.

Кроме того, Человек использует для своего развития метод целенаправленного перебора вариантов на базе предыдущего опыта и накопленных знаний, позволяющий сократить время разработок до минимума.

Величайшее изобретение человечества колесо и укрощенный огонь Природа на своей элементной базе создать, в принципе, не могла.

Сравнивая элементные базы Человека и Природы, можно отметить, что Человек имеет в своем распоряжении гораздо более прочные материалы, более совершенные механизмы, более мощные энергетические установки. Все это позволило Человеку создать летательные аппараты, превосходящие по взлетному весу, скорости, экономичности и другим параметрам любое создание Природы.

Кроме того, у Человека и летающих существ различные условия существования, поэтому, даже тщательно изучив эти механизмы, человек не сможет ими воспользоваться. На это есть несколько причин принципиального характера.

Учитывая законы аэродинамики, все летательные аппараты и летающие существа можно разделить на три группы:

- насекомые;
- птицы и модели летательных аппаратов;
- махолеты и самолеты.

Аэродинамический параметр, который разделяет эти группы, это число Рейнольдса  $Re$ , которое определяется соотношением между силами инерции и силами вязкости, возникающими в обтекающей поверхности потоке воздуха.

$Re = V \cdot L / \nu$ , где  $V$  – скорость потока;

$L$  – хорда крыла;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воздуха.

Я не буду вдаваться в подробности, надеюсь читатель познал основы аэродинамики крыла, и только отмечу, что величина числа  $Re$  определяет характер течения воздушного потока над поверхностью крыла. На малых числах  $Re$  преобладают силы вязкости и течение ламинарное, на больших – силы инерции и течение турбулентное. Критическое значение числа  $Re$ , разделяющее две основные области характеристик потока, составляет для профиля 120 000 ÷ 160 000.

Ниже приведены числа  $Re$  для различных аппаратов и существ.

#### **Авиация**

Транспортные самолеты  $Re = 10^8$  и  $Re > Re_{кр}$

Легкие самолеты  $Re = (2 \div 5) \cdot 10^6$  и  $Re > Re_{кр}$

Махолет  $Re = 1.5 \cdot 10^6$  и  $Re > Re_{кр}$

#### **Птицы и модели**

Модель махолета  $Re = 50000 \div 80000$  и  $Re < Re_{кр}$

Парящий альбатрос  $Re = 200\ 000$  и  $Re > Re_{кр}$

Чайка  $Re = 100\ 000$  и  $Re < Re_{кр}$

#### **Насекомые**

Бабочка в планирующем полете  $Re = 3000 \div 7\ 000$  и  $Re < Re_{кр}$

Мелкие комары и мушки  $Re = 20 - 1000$  и  $Re < Re_{кр}$

Число  $Re$  в значительной мере определяет форму несущей поверхности. При больших числах  $Re$  увеличение несущих свойств и уменьшение сопротивления требует обеспечения плавности обводов профиля.

Птицы летают в той области малых скоростей и размеров, где очень существенны силы вязкости, и которая принципиально не может быть использована человеком. Кроме того, частота маха птиц находится в пределах от 1гц у больших птиц до 200гц у маленьких. В этих условиях влияние нестационарности становится существенным. Самая большая птица – альбатрос летает на сверхкритическом числе  $Re$ , и его крыло напоминает самолетное.

Крылья птиц имеют механизмы адаптации к обтекающему их потоку. У основания каждого перышка есть рецепторы, чувствительные к местному потоку, которые помогают головному мозгу, выполняющему функции автопилота, адаптировать крыло и оперение к местному набегающему потоку. Каждым своим перышком птица чувствует поток. Создать такую чувствительную поверхность человеку вряд ли удастся.

Аэродинамика насекомых характерна малыми числами  $Re$  и высокой частотой махов. Для этой группы влияние нестационарности на аэродинамические характеристики становится определяющим. Аэродинамика в этой области практически не изучена. Геометрическая форма несущей поверхности насекомых оптимизирована на малые числа  $Re$ , где преобладают силы вязкости, и имеет форму пластин. Если увеличить крыло самого совершенного насекомого-летуна до размеров, необходимых для поддержания человека в воздухе, то такое крыло будет обтекаться воздушным потоком с большими сверхкритическими числами  $Re$ , где преобладают силы инерции. Такое крыло окажется совершенно непригодным для полета человека.

Механическое перенесение особенностей аэродинамической компоновки живых существ, летающих в области докритических чисел  $Re$ , на летательные аппараты, использующие область сверхкритических чисел  $Re$ , обречено на неудачу. Никакая муха или птица

не может быть прототипом для конструирования летательного аппарата, в том числе, и махолета.

Аэродинамика махолетов характерна большими сверхкритическими числами  $Re$  и небольшой частотой маха, менее 1Гц. Влияние нестационарности на аэродинамику не такое большое, и ее можно не учитывать при оценочных расчетах. Аэродинамика для этой группы изучена хорошо, и современный уровень знаний позволяет достаточно точно моделировать процессы и производить расчеты характеристик.

## Сравнительная оценка КПД махолёта, самолёта и птицы

Большинство энтузиастов машущего полета уверено в высоком кпд махолета и птиц. Сделаем анализ этой проблемы и сделаем сравнительную оценку кпд превращения энергии топлива или пищи в энергию движения для самолета, махолета и птицы.

Проблема определения *кпд* махолета есть более сложная, чем для самолета. Дело в том, что *кпд* изменяется по фазам маха и зависит от характеристик привода. Еще более сложная задача сравнивать *кпд* самолета, махолета и птицы. Можно высказать некоторые общие соображения.

В природе постоянно происходят процессы превращения энергии, поэтому в полной постановке анализ энергетического совершенства летательных аппаратов и живых существ является чрезвычайно сложным. Рассмотрим более узкую проблему превращения энергии последних звеньев цепочки энергозатрат птицы, самолета и махолета начиная с этапа потребленной пищи у птицы и заправленными топливом баками самолета и махолета.

Общий *кпд* превращения энергии топлива в энергию движения самолета и махолета можно разделить на три составляющие.

– *кпд* превращения химической энергии топлива в механическую энергию вращающегося вала двигателя,

– *кпд* редуктора, понижающего обороты коленвала,

– *кпд* движителя (у самолета – это воздушный винт, у махолета – крылья), который превращает энергию, вращающегося вала редуктора в энергию движения летательного аппарата.

Самолеты и махолеты используют одни и те же двигатели, поэтому *кпд* превращения химической энергии в механическую энергию вращающегося вала двигателя одинаков для рассматриваемых летательных аппаратов.

*Кпд* поршневого двухтактного двигателя, устанавливаемого на легких самолетах, составляет, примерно,  $h_{дв}=0.25$ .

*Кпд* воздушного винта легкого самолета равен  $h_{в}=0.75$ .

Кроме того, часть энергии теряется в редукторе. Одноступенчатый шестеренчатый редуктор имеет *кпд*

$h_{р}=0.98$ .

Таким образом, *кпд* превращения механической энергии двигателя в энергию движения самолета равен

$h = h_{р} \cdot h_{в} = 0.98 \cdot 0.75 = 0.73$ ,

а общий коэффициент превращения химической энергии топлива в энергию движения легкомоторного самолета с двухтактным двигателем составляет

$h = h_{дв} \cdot h_{р} \cdot h_{в} = 0.25 \cdot 0.98 \cdot 0.75 = 0.18$ .

А если учесть затраты энергии на добычу нефти, ее переработку и транспортировку, то коэффициент использования химической энергии нефти составит менее 0.1. Человек распоряжается запасенной для него энергией нерационально.

### **Махолет.**

*Кпд* превращения химической энергии в механическую энергию вращающегося вала двигателя такой же, как у самолета.

У махолета сложный и энергоемкий редуктор, необходимый для преобразования быстрого вращения вала двигателя  $n=75$  об/с в медленные махи крыльями  $n=0.7$  мах/с. Для махолета «Дедал-1», проект которого разработан фирмой «АНКОМ», *кпд* редуктора составляет  $h_{р}=0.92$ . В будущем, возможно, появятся силовые установки, не требующие редуктора, что приведет к уменьшению потерь.

Рассмотрим КПД превращения энергии поступающей к машущему крылу в энергию тяги. При махе все параметры изменяются в зависимости от фазы маха, поэтому сложно определить *кпд*. Сделаем качественный анализ, для этого рассмотрим потери энергии при махе крыльями вниз и вверх.

При махе вниз наиболее эффективно используется энергия двигателя: вектор полной аэродинамической силы крыла наклонен вперед, и его проекции создают подъемную силу и тягу. В этой фазе маха *кпд* максимален, и можно ожидать, что он близок к *кпд* самолета.

При махе вверх для обеспечения необходимой подъемной силы угол атаки на несущих поверхностях крыльев положителен, а вектор полной аэродинамической силы наклонен назад. При этом проекция полного вектора на горизонтальную ось направлена назад, создавая сопротивление. Для компенсации этого сопротивления концевые отсеки должны создавать тягу, для чего угол атаки должен быть отрицательным. Подъемная сила этих отсеков направлена вниз и для компенсации потерь подъемной силы нагрузка на несущие отсеки крыла должна быть увеличена.

Полностью все потери тяги и подъемной силы в течении цикла маха можно компенсировать за счет увеличения потребной мощности двигателя, поэтому в этой фазе *кпд* меньше, чем у самолета.

При использовании двух пар крыльев можно ожидать некоторое увеличение *кпд*, однако, это будет связано со значительным усложнением конструкции махолета и другими потерями, поэтому здесь не рассматривается.

Кроме того, часть энергии тратится на преодоление моментов инерции при разгоне и торможении крыльев при махе (у самолета этого нет), что также снижает общий *кпд* махолета.

Можно предположить, что коэффициент превращения механической энергии маха крыльями в энергию движения составит не более  $\eta_m = 0.6$ .

Таким образом, *кпд* превращения энергии вращения вала двигателя в энергию движения у махолета равен

$$\eta_p \ll \eta_m = 0.65 * 0.6 = 0.39,$$

$$\text{и общий } \textit{кпд} \text{ превращения энергии топлива в энергию движения махолета равен } \eta_{дв} * \eta_p \ll \eta_m = 0.25 * 0.65 * 0.6 = 0.1.$$

Таким образом, качественная оценка показывает, *кпд* махолета будет почти в два раза меньше, чем самолета, так что не оправдываются надежды энтузиастов машущего полета на высокий *кпд* махолета.

Теперь рассмотрим *кпд* птицы.

Птица в полете совершает махи крыльями, используя биохимическую энергию, которую получил ее организм, усвоив пищу, в механическую энергию маха крыльями. *Кпд* превращения биологической энергии определить достаточно сложно, можно высказать только некоторые качественные оценки, не претендующие на большую точность. Меня интересует порядок величин.

Начнем рассматривать процесс превращения энергии, начиная с того момента, когда птичка поклевала зернышки или съела червяка. Энергию употребляемой пищи нельзя измерить в калориях путем сжигания пищи. Организм животного (и человека) – это не топка паровоза, в нем происходят сложные биохимические процессы, которые позволяют более полно использовать имеющуюся в пище энергию. Часть энергии птица расходует на процесс переваривания пищи, на поддержания своей жизнедеятельности и на регулирование температуры тела. Для оценочного расчета можно принять, что, примерно, 25% энергии пищи расходуется на эти цели. Следует заметить, что эта цифра нуждается в уточнении, и автор будет благодарен тем, кто сможет привести более точные и обоснованные данные.

Рассмотрим *кпд* превращения энергии маха птицы в энергию движения. Занимаясь параметрическими исследованиями различных вариантов компоновки махолета, я пришел

к выводу, что крыло птицы выполняет функции создания тяги и подъемной силы менее оптимально, чем может это делать крыло махолета.

Аэродинамическая компоновка крыла, и кинематика маха птиц оптимизированы на той элементной базе, которая имеется у Природы. Вследствие недостаточной крутильной гибкости концевые части крыла птиц не могут устанавливаться на оптимальные углы атаки. Они обтекаются воздушным потоком с очень большими положительными и отрицательными углами атаки и имеют большое сопротивление. Кроме того, из курса аэродинамики малых скоростей известно, что на малых скоростях (где число  $Re < 10^5$ ) несущие свойства крыла и его аэродинамическое качество уменьшаются, что приводит к уменьшению *кпд* превращения энергии маха крыльями в энергию движения птицы.

Можно предположить, что *кпд* превращения механической энергии маха в энергию движения птицы составит не более 0.6, и общий *кпд* превращения биохимической энергии пищи в энергию движения у птиц равен

$$\eta_{п} = \eta_{дв} * \eta_{в} = 0.6 * 0.75 = 0.45.$$

У птиц нет потерь на редукацию.

Следует отметить, что приведенные цифры имеют качественный характер, и будут отличаться для конкретных летательных аппаратов и видов птиц, тем не менее, они отражают некоторые общие закономерности.

По результатам анализа можно сделать следующие выводы:

1. Махолет будет иметь низкий *кпд*.
2. Высокий общий *кпд* у птиц определяется высокой эффективностью использования биохимической энергии пищи.

Таким образом, не оправдываются надежды на создание более экономичного летательного аппарата. Тем не менее, махолеты представляют значительный спортивный интерес и обязательно займут свое место в авиации будущего.

Ну хорошо, человек в конце концов построит махолет, а может быть Природа уже создавала какую-нибудь большую птицу или ящер типа летающей лошади или хотя-бы собаки?

**Почему птицы летают, а лошади нет?**

## Почему птицы летают а лошади нет

*«Лишь только юный герой Беллерофонт приблизился к крылатому коню Пегасу, как взмахнув своими могучими крыльями, с быстротой ветра уносился конь за облака и парил в них, подобно орлу.» Гомер, «Илиада».*

Это красивый миф, а в реальной жизни этого никто не видел. Даже страусы, у которых имеются крылья, не летают. С одной стороны это, конечно, хорошо, мало ли что может случиться – все-таки лошадь, но, с другой стороны, хорошо было бы не только поездить на лошади, но и полетать бы на ней. Это, конечно шутки, но проблема максимальной массы летающего существа тоже интересна.

С другой стороны, посмотрим на жука: он то почему летает? С таким брюхом и какими-то маленькими пластинками используемых в качестве крыльев он должен был сидеть на ветке и даже не помышлять о полете. А он летает.

Известно, что все классы летающих существ умещаются в диапазоне масс от 3 мг у мошки до 12 кг у альбатроса. Но вот тяжелее альбатроса природа никого не создала, хотя времени было достаточно. Значит, есть пределы и у природы, которые она перешагнуть не может. Рассмотрим эти проблемы с точки зрения аэромеханики.

В авиации известна закономерность **квадрата-куба**, которая гласит.

С увеличением размеров аппарата при сохранении подобия его структуры площадь его поверхности растет пропорционально квадрату линейного размера, а масса – пропорциональна кубу. Математически его можно записать следующим образом:

$$1 (L) - 2 (S) - 3 (M)$$

Таким образом, при увеличении размеров масса растет быстрее, чем площадь. Но одной этой закономерности недостаточно, чтобы объяснить рассматриваемый феномен. Продолжим этот ряд.

В аэродинамике для обеспечения установившегося горизонтального полета летательного аппарата вводится понятие потребной мощности, которая определяется по формуле

$N_p = M * V / k$ , здесь  $M$  – масса летательного аппарата;  $V$  – скорость полета,  $k$  – аэродинамическое качество летательного аппарата.

Аэродинамическое качество – это отношение подъемной силы (при установившемся полете она равна силе тяжести летательного аппарата) к силе его аэродинамического сопротивления. Чем выше аэродинамическое качество, тем совершеннее аппарат, и тем меньше потребная мощность двигателя. Аэродинамическое качество у птиц изменяется в широких пределах. Самое высокое аэродинамическое качество имеют морские птицы, приспособленные к преодолению больших расстояний, а среди них выделяется альбатрос, имеющий наибольшую массу и наиболее совершенные с точки зрения аэродинамики крылья. Аэродинамическое качество с уменьшением размеров птицы несколько уменьшается, но в первом приближении для птиц можно принять его независимым от массы.

Рассмотрим, как изменяется скорость полета при изменении массы птиц.

В соответствие с законом 1-2-3 площадь крыла изменяется медленнее, чем изменяется масса, т.е. с увеличением массы растет удельная нагрузка на единицу площади и наоборот. Изучение влияния удельной нагрузки на скорость полета птиц показывает, что, в общем, имеется определенная закономерность между этими двумя параметрами: чем больше удельная нагрузка на крыло, тем больше скорость полета, и наоборот. Скорость установившегося горизонтального полета определяется по формуле

$$V = (2 * M / \rho * S * C_y)^{0.5};$$

где  $C_u$  – коэффициент подъемной силы в горизонтальном полете;  $\rho$  – плотность воздуха. В первом приближении (специальные исследования подтверждают это) можно принять, что  $C_u$  не зависит от размеров птиц, следовательно, скорость полета пропорциональна  $(M/S)^{0.5}$ , т.е. линейному размеру в степени 0.5. Таким образом, необходимая мощность пропорциональна увеличению линейного размера в степени 3.5, и закономерность будет иметь следующий вид

$$1 (L) -2 (S) -3 (M) -3.5 (Nп).$$

Конечно, из этого правила много исключений, но нам интересна общая тенденция.

Таким образом, с увеличением размеров существа необходимая мощность увеличивается быстрее, чем его масса, и наоборот. Вы обратили внимание, как летают большие и маленькие птицы? Большие птицы совершают, в основном, планирующий полет, используя восходящие потоки воздуха, и машут крыльями, преимущественно, на взлете. Маленькие птички в течение всего полета энергично машут крыльями, и чем меньше птичка, тем частота махов больше. Например, у самой маленькой птички колибри частота маха 200 Гц.

Из этого закона следует, что при уменьшении массы необходимая мощность уменьшается быстрее, и Природа позволяет маленьким птичкам не только меньше заботиться о своем аэродинамическом совершенстве, но и иметь относительно менее мощную мускулатуру. Маленькие птички компенсируют недостаток аэродинамического качества путем некоторого увеличения относительной мощности за счет увеличения частоты маха. Большие птицы недостаток мощности компенсируют увеличением аэродинамического качества и изменением режимов полета (частота маха уменьшается и большая часть полета – это планирование в восходящих потоках).

Если мы перейдем к насекомым, то здесь масса уменьшается скачкообразно, а необходимая мощность оказывается настолько малой, что насекомое легко компенсирует все несовершенство аэродинамики. У больших птиц относительная масса крыльев и мышц составляет больше половины массы птицы, а у насекомых на порядок меньше. Теперь становится понятно, почему летают жуки и прочие насекомые с такой несовершенной аэродинамикой.

Но вот человек создал мускулолет и перелетел пролив Ла-Манш. Что это, может закон не работает? Обратимся к формуле определения необходимой мощности: в знаменателе стоит аэродинамическое качество. Изобретателям мускулолета путем применения современных материалов удалось создать настолько аэродинамически совершенное крыло, что мощности человека оказалось достаточной для совершения полета.

Продолжим нашу логическую цепочку.

Рассмотрим конструкцию крыла с точки зрения механики. Опорно-двигательный аппарат большинства животных состоит из сочлененных друг с другом костей, которые поддерживаются мышцами. Кости работают на сжатие, а мышцы и сухожилия на растяжение. Такое строение оптимально для передвижения по земле. Крыло работает как консольная балка и элементная база, имеющаяся в распоряжении Природы, не позволяет создать оптимальную конструкцию. При увеличении массы птицы и ее размеров увеличиваются нагрузки на кости и мышцы, из которых состоит крыло.

В соответствии с приведенной закономерностью, при увеличении размера птицы ее вес увеличивается пропорционально кубу увеличения размера, а плечо приложения силы тяжести пропорционально увеличению размера. Таким образом, нагрузка на мышцы крыла увеличивается пропорционально четвертой степени увеличению размера и закономерность примет следующий вид

$$1 (L) -2 (S) -3 (M) -3.5 (Nп) -4 (Mx)$$

и ее определение следующее:

**При изменении линейного размера летательного аппарата или летательного существа площадь поверхности изменяется в квадрате, масса в кубе, необходимая мощ-**

**ность в степени 3.5, нагрузки на мышцы крыла в четвертой степени от изменения линейного размера.**

Для преодоления недостатков опорно-двигательного аппарата Природа сделала гениальное изобретение – это перо. Очень легкое, воздухонепроницаемое и хорошо работает на изгиб. Перья позволили существенно увеличить размах крыльев, от которого зависит его аэродинамическое качество. У меня дома лежит перо орла, которое я нашел в горах Памира, длиной 580 мм.

Продолжим нашу логическую цепочку.

Летающие существа совершают маховые движения крыльями, которые являются возвратно-поворотными. Такое движение связано с большими угловыми ускорениями крыльев, вследствие чего необходимо преодолевать инерционные моменты крыльев. Существо должно затратить дополнительную мощность своих мышц на торможение крыльев, а затем на их ускорение. И так два раза за полный цикл маха. Таким образом, энергия затрачивается не только на создание тяги или подъемной силы, но и на преодоление моментов инерции.

Из курса механики известно, что момент необходимый для торможения и разгона крыла пропорционален угловому ускорению и моменту инерции крыла

$M_x = I_x * j$ , где:  $I_x$  – момент инерции крыла относительно оси его маха,  $j$  – угловое ускорение крыла при его торможении и разгоне.

Момент инерции определяется по формуле

$I_x = M_{кр} * z^2$ , где  $M$  – масса крыла,  $z$  – расстояние от центра тяжести крыла до оси маха.

Так как масса изменяется пропорционально кубу линейного размера, то момент инерции изменяется пропорционально 5-й степени линейного размера. С учетом вышеизложенного, общая закономерность будет иметь вид

**1 (L) -2 (S) -3 (M) -3.5 (Nп) -4 (Mx) -5 (Ix)**

и ее определение следующее:

**При изменении линейного размера летательного аппарата или летательного существа площадь поверхности изменяется в квадрате, масса в кубе, потребная мощность в степени 3.5, нагрузки на мышцы крыла в четвертой степени а момент инерции в пятой степени от изменения линейного размера.**

Прежде всего, заметим, что этот закономерность имеет качественный характер и отражает общие тенденции. Она дает ответ на многие вопросы, которые без нее кажутся непонятными. Вы обратили внимание, как неуклюжи и медлительны слоны и бегемоты, и как резвы маленькие животные.

Обратимся к мускулолету. У него неподвижное крыло, поэтому проблема моментов инерции для него не столь важна.

Существует много гипотез вымирания динозавров. Можно предложить еще одну. Они были такими большими и поэтому такими медлительными и неповоротливыми, что оказались совершенно беззащитными от своих меньших, более подвижных и агрессивных собратьев, типа тиранозавров, которые их просто скушали.

Следует заметить, что предложена определенная закономерность, а не закон, поэтому рассмотрим, как можно было бы обойти эту закономерность. Проблему уменьшения потребной мощности можно решить, увеличив площадь крыла и его аэродинамическое качество. Но, решив проблему потребной мощности, мы усугубляем проблему с моментами инерции. Дело в том, что при увеличении площади крыла, например, в два раза моменты инерции этого крыла увеличиваются в 7 раз. Кроме того, для повышения аэродинамического качества необходимо увеличить размах крыла, что приведет к еще большему увеличению моментов инерции. Таким образом, на современном уровне технологии создать махолет с мускульным приводом не представляется возможным.

Но Природа изобретательна и в своем развитии использует метод проб и ошибок путем случайного перебора вариантов и закрепления удачных вариантов в генетическом коде, передаваемом по наследству. За миллионы лет она перепробовала огромное количество вариантов, но так и не смогла создать летающих существ более 12—15 кг.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.