ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Тема: «Могут ли люди летать,

не используя дополнительные устройства?»

Автор: Демина Лера

ГБОУ № 185, 4 «Г» класс

Руководитель – Лукьянова И.Е.

Г. Москва , 2015 г.

**Содержание**

 Стр.

Введение 3

1.Сущность исследований 3

2.Законы физики и подъемная сила 4

3.Как летают птицы 5

3.1 Особенности строения птиц 5

3.2 Физические процессы, которые лежат в основе полета птиц 12

3.3 Особенности адаптации птиц на разных этапах полета 13

4.Как летают рыбы 18

4.1 Особенности строения летучих рыб 18

5.Как летают рукокрылые 20

5.1 Особенности строения рукокрылых (на примере летучих мышей) 20

5.2 Физика полета летучих мышей на отдельных этапах полета 20

6. Сравнение результатов исследования адаптаций птиц, рыб и рукокрылых 23

Заключение 24

Список литературы 25

– Соня! Соня! – послышался опять первый голос. – Ну как можно спать! Да ты посмотри, что за прелесть! Ах, какая прелесть! Да проснись же, Соня, – сказала она почти со слезами в голосе. – Ведь этакой прелестной ночи никогда, никогда не бывало.
Соня неохотно что-то отвечала.
 – Нет, ты посмотри, что за луна! … Ах, какая прелесть! Ты поди сюда. Душенька, голубушка, поди сюда. Ну, видишь? Так бы вот села на корточки, вот так, подхватила бы себя под коленки, – туже, как можно туже – натужиться надо. Вот так!
 – Полно, ты упадешь….

(Л.Н.Толстой, «Война и мир»)

Отчего люди не летают? …   Я говорю, отчего люди не летают так, как птицы? Знаешь, мне иногда кажется, что я птица. Когда стоишь на горе, так тебя и тянет лететь. Вот так бы разбежалась, подняла руки и полетела.

 (Н.А.Островский, «Гроза»)

**Введение**

Мне всегда было интересно: могут ли люди летать?

Не в самолете и не в ракете, не на воздушном шаре и не на дельтаплане. Могут ли люди летать сами по себе, не прибегая к помощи технических устройств? Летают же птицы, ЛЕТУЧИЕ мыши и даже рыбы. Возможно, что и человек может летать при определенных условиях, надо только попробовать.

1. **Сущность исследований**

**Моя гипотеза:**

ЧЕЛОВЕК МОЖЕТ ЛЕТАТЬ, НЕ ПРИБЕГАЯ К ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВАМ.

Для того, чтобы подтвердить или опровергнуть эту гипотезу, я решила обратиться к миру животных и выяснить как летают птицы, рыбы, и некоторые млекопитающие, например, летучие мыши. Перечисленные животные относятся к разным классам, но несомненно можно найти общие закономерности в их способности летать.

Для подтверждения или опровержения гипотезы, что человек может летать как птица, мы располагаем следующими инструментами:

1. полет тела тяжелее воздуха с точки зрения законов физики;
2. данные исследований при помощи микроэлектронной и радиолокационной техники, которые позволяют проследить движение крыльев животных, работу мышц во время полета, а также произвести измерения скорости полета в естественных условиях.

**Объект исследований:**

способность живых существ, перемещаться по воздуху, не прибегая к дополнительным техническим устройствам.

**Субъекты исследований:**

 птицы, рыбы, рукокрылые .

**Программа исследований:**

1. Выяснить:

1.1 какие законы физики лежат в основе полета животных;

1.2 каковы особенности строения и адаптации к полету птиц, рыб, рукокрылых;

1.3 как приспособлено животное с точки зрения физиологии для осуществления взлета, полета и посадки.

2. Обобщить результаты анализа летающих представителей животного мира, сделать вывод о возможности человека летать.

Вывод о возможности человека летать позволит подтвердить или опровергнуть основную гипотезу.

1. **Законы физики и подъемная сила**

Человек открывал законы физики и использовал полученные знания для создания летательных аппаратов: самолетов, вертолетов и пр. Для понимания принципов полета самолетов воспользуемся принципом Бернулли, теорией Жуковского и законами Ньютона.

**Принцип Бернулли.** Принцип Бернулли гласит, что давление в потоке газа падает с увеличением скорости. Для иллюстрации принципа Бернулли рассмотрим рисунок 1.

Поток воздуха, набегающий на переднюю кромку крыла, делится на две части: одна обтекает крыло снизу, другая — сверху. Поток воздуха вблизи выпуклой поверхности крыла проходит большее расстояние, его скорость выше, чем скорость потока воздуха вблизи плоской поверхности крыла.

Таким образом, давление воздуха под крылом выше, чем над ним. Разница давлений направлена вверх, это и есть подъёмная сила.****

Рис.1 Взаимодействие выпуклого крыла с потоком воздуха

**Теория Н.Е. Жуковского.** В реальности обтекание крыла потоком воздуха является очень сложным трёхмерным нелинейным и [нестационарным](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) процессом.

Верхняя часть воздушного потока имеет повышенную скорость, что вызвано взаимодействием слоёв неподвижного и подвижного воздуха и верхней поверхности крыла (а не расстоянием, которое проходит воздух вблизи выпуклой поверхности крыла). Поток воздуха, следующий вдоль верхней поверхности крыла, «прилипает» к ней и старается следовать вдоль этой поверхности даже после точки перегиба. Благодаря поступательному движению, крыло совершает работу по разгону этой части потока. Достигнув точки отрыва у задней кромки, воздух продолжает своё движение вниз по инерции вместе с массой воздуха, отклонённой нижней поверхностью крыла, что в сумме вызывает скос потока и возникновение реактивного импульса. Вертикальная часть этого импульса и вызывает подъёмную силу, уравновешивающую силу тяжести, горизонтальная часть уравновешивается лобовым сопротивлением.

В 1904 г. Н.Е. Жуковский создал вихревую теорию крыла, раскрыв механизм передачи энергии от крыла к потоку воздуха. Согласно его теории, движущееся крыло, вследствие вязкости воздуха будет увлекать за собой приграничный и прилегающие к нему слои. Разность давлений на верхней и нижней поверхностях крыла приведет к появлению подъемной силы. Величина подъёмной силы пропорциональна плотности среды, скорости потока и [циркуляции скорости](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%80%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8) потока.

Подъемная сила – это часть полной аэродинамической силы с которой набегающий воздушный поток действует на твердое тело (Рис.2). Центр давления – это точка приложения этой силы.



R –полная аэродинамическая сила, Y – подъемная сила, Q- сила лобового сопротивления, - угол атаки, θ - угол качества.

Рис. 2 Полная аэродинамическая сила

R = СR \*( (r \* V2)/2 )\*S,

Где СR – аэродинамический коэффициент, r- массовая плотность воздуха на высоте полета, V – скорость тела относительно воздуха, S- площадь крыла.

И подъемная сила (Y) и сила лобового сопротивления (Q) являются составляющими полной аэродинамической силы:

R = Y+ Q +Z,

Где Z – поперечная сила.

Подъемная сила Y всегда направлена перпендикулярно набегающему потоку (вектору скорости) в сторону пониженного давления. Эта сила возникает вследствие разности давлений под крылом и над крылом. Причем, чем больше разность давлений, тем больше подъемная сила.

Лобовое сопротивление Q направлено параллельно набегающему потоку (против полета). Сила лобового сопротивления возникает вследствие разности давлений впереди и за крылом, а также вследствие трения воздуха в приграничных слоях крыла.

Тело, которое поднимается в воздух должно обладать:

- потребной скоростью горизонтального полета (скорость (VГП), необходимой для создания подъемной силы, равной силе тяжести поднимаемого в воздух тела, при данном угле атаки);

- потребной тягой для горизонтального полета (тягой (PГП), необходимой для преодоления лобового сопротивления тела при данном угле атаки).

При этом необходимая мощность двигателей рассчитывается как:

N= VГП \* PГП.

Взлетающий с полными баками самолет в процессе полета теряет до 30% своей первоначальной массы за счет выгорания топлива.

Таким образом, человек, используя знания законов физики, построил летательные аппараты, которые поднимаются в воздух, создавая аэродинамические вихри в потоках воздуха при помощи энергии сжигаемого топлива.

Животные не носят на себе топливные баки. Природа наградила их рядом адаптаций, которые позволяют им летать без знания законов физики и специальных приспособлений. Рассмотрим, как адаптации в животном мире позволяют подниматься в воздух его отдельным представителям.

**3.Как летают птицы**

**3.1 Особенности строения птиц**

Основной класс животных, который приспособлен преодолевать по воздуху дальние расстояния – это птицы. Рассмотрим подробно их строение, так как за многие миллионы лет эволюции именно адаптации птиц позволили им освоить воздушное пространство.

**Строение тела.** Тело подразделяется на голову, шею, туловище и хвост. Передние конечности — крылья, задние — ноги. На голове - клюв, состоящий из надклювья и подклювья. Ноги - четырехпалые.

**Скелет птицы** состоит из черепа, позвоночника, пояса передних и задних конечностей, свободных конечностей. Череп включает черепную коробку, глазницы, верхнюю и нижнюю челюсти (основа клюва). Позвоночник подразделяется на пять отделов: шейный (11 подвижно соединенных позвонков), грудной, поясничный, крестцовый и хвостовой, соединенные неподвижно. Грудная клетка образована пятью парами ребер, состоящих из двух частей, сочлененных подвижно. Грудина снизу имеет высокий гребень — киль. Пояс передних конечностей представлен парными костями — лопатками, ключицами и вороньими костями. Ключицы образуют вилочку. Скелет крыла состоит из плечевой кости, локтевой и лучевой костей, костей трехпалой кисти. Кости пояса задних конечностей — парные тазовые, сросшиеся с поясничным и крестцовым отделами позвоночника и первыми хвостовыми позвонками. Нога состоит из бедренной кости, сросшихся большой и малой берцовых костей, цевки (сросшиеся кости стопы) и четырех пальцев; кости полые, содержат воздух. Относительный вес скелета у птиц, поэтому, невелик.

1 —нижняя челюсть; 2 — череп; 3 —шейные позвонки; 4 — грудные позвонки; 5 — плечевая кость; 6 — кости пясти и пальцев; 7—кости предплечья; 8—лопатка; 9 —ребра; 10 — таз; 11 —хвостовые позвонки; 12 — копчиковая кость; 13 — бедренная кость; 14 — кости голени; 15 — цевка; 16 — фаланги пальцев; 17 — киль грудины; 18 — грудина; 19 — коракоид; 20 — ключица.

Рис.3. Скелет птицы

**Мускулатура птиц** отличаются большой плотностью, а мышцы конечностей имеют длинные сухожилия. Парные большие грудные мышцы, прикрепленные к грудине и ее килю, служат для опускания крыла, подключичные мышцы — для подъема крыла. Хорошо также развиты мышцы ног, шеи (подвижность шейного отдела позвоночника выражается в широких возможностях сгибания и вращения шеи: обычно до 180°, а у сов - до 270°), межреберные. У хорошо летающих птиц крупные грудные мышцы достигают по массе 15-20% массы тела, так что такое расположение мышц (ближе к центру тяжести) способствует устойчивости птицы в воздухе.

**Покров.** Индивидуальной особенностью покровов птиц является оперение. Перья птицы служат целям терморегуляции, главным образом сохранению тепла, создают «обтекаемую» поверхность тела и предохраняют кожные покровы от повреждений. По строению различают контурные, рулевые, покровные, пуховые перья, пух, нитевидные перья, щетинки.



Типы перьев у птиц: 1 — контурное, типичное маховое перо, 2 — рулевое перо (перо хвоста), 3 — покровное перо, 4 — нитевидное перо, 5 — кистеоб­разное перо, 6 — пуховое перо

Рис.4 Перья птицы

Контурные перья покрывают всё тело птицы и имеют хорошо развитый плотный стержень, основание которого, охватывается находящейся в коже перьевой сумкой. От стержня отходят упругие бородки, которые сцепляются с крючочками соседних бородок, образуя опахало пера. В самой нижней части пера бородки обычно являются более мягкими и длинными, не имеют крючочков — этот участок называют пуховой частью опахала. Особенности строения перьев могут варьировать у разных групп птиц. Так виды, живущие в суровых температурных условиях, обычно обладают более сильно развитой пуховой частью опахала. У большинства птиц имеются пуховые перья и пух, лишённые крючочков, из-за чего сцепленного опахала не образуется. Пух относительно равномерно покрывает всё тело. Обычно пуховые перья и пух прикрыты контурными перьями. Только у немногих птиц голова и часть шеи покрыты только пухом. Нитевидные перья расположены под контурными перьями, обладают длинным тонким стержнем и редуцированными бородками. Они выполняют осязательную функцию. Наличие микроскопических крючков, позволяет перу сохраняться целостным и предоставляет ему необходимую для полёта прочность.

Кожа у птиц тонкая, сухая, не имеет кожных желез, распределенных по всей поверхности тела, а имеет (а у некоторых птиц и не имеет) лишь копчиковую железу, расположенную над хвостовыми позвонками, вырабатывающую жироподобный секрет. Секрет копчиковой железы птицы используют для обработки перьев. При этом птицам приходится клювом выдавливать секрет из железы и распределять по перьям, что способствует сохранению свойств пера.

**Дыхательная система.** Дыхательная система птиц, если не самая совершенная, то самая сложная среди позвоночных. Птицы из 1 литра воздуха извлекают 40 мл кислорода (млекопитающие - 30 мл), при этом напряженность кислорода в артериальной крови больше, а двуокиси углерода меньше, чем в выдыхаемом воздухе!

[Лёгкие](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%91%D0%B3%D0%BA%D0%B8%D0%B5) устроены таким образом, что воздух проходит через них насквозь, при этом полный цикл воздух совершает за две пары дыхательных движений (вдох-выдох-вдох-выдох), так называемое двойное дыхание. При вдохе только 25% воздуха остаётся непосредственно в лёгких, а 75% проходит через них попадает в [воздушные мешки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%88%D0%BA%D0%B8). При выдохе воздух из них опять проходит через лёгкие, но уже наружу, образуя т.н. двойное дыхание. Таким образом, лёгкие насыщаются кислородом как при вдохе, так и при выдохе. В состоянии покоя дыхание птицы осуществляется путём расширения и сжатия грудной клетки. При полёте, когда движущимся крыльям нужна твёрдая опора, грудная клетка птиц остаётся практически неподвижной и прохождение воздуха сквозь лёгкие обусловливается расширением и сжатием воздушных мешков. Чем интенсивнее машущий полёт, тем интенсивнее и процесс дыхания. При подъёме крыльев воздушные мешки растягиваются и воздух самостоятельно засасывается в них и лёгкие. При опускании крыльев происходит выдох и через лёгкие проходит воздух из воздушных мешков.

Легкие птиц характеризуются трубчатым строением и очень густой капиллярной сетью. С лёгкими связано пять пар [воздушных мешков](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%88%D0%BA%D0%B8) — тонкостенных, легко растяжимых выростов вентральных ответвлений крупных бронхов, находящиеся среди внутренних органов, между мышцами и в полостях трубчатых костей крыльев. Данные мешки играют большую роль в процессе дыхания птиц во время полёта. Наряду с функцией дыхания воздушные мешки несут добавочные функции: облегчают вес птицы, примыкая к крупным группам мышц участвуют в терморегуляции (рассеивание лишнего тепла), а у водоплавающих птиц также дополнительно обеспечивают плавучесть.

Воздушные мешки - единственная эффективная система охлаждения птиц. Находясь в самых "горячих местах", между и вокруг работающих мышц, в брюшной полости и т.д., воздушные мешки наполняются воздухом, имеющим температуру окружающей среды (а учитывая высокую температуру у птиц, которая у разных видов колеблется от 38› до 43,5›C, температура среды в большинстве случаев будет ниже), при этом происходит испарение жидкости со стенок мешков, что способствует охлаждению их стенок, таким образом осуществляя охлаждение тела. А в полете, когда усиливается мышечная работа, а значит и теплопродукция, учащается и работа сердца и усиливается внешнее дыхание, усиление дыхания будет способствовать интенсивной теплоотдаче. Они же могут являться и изоляторами, предотвращая теплообмен между тканями, которые они разделяют, в частности это внутренние органы и покровные ткани.

Примечательно, что в дыхательных путях птиц не обнаружено никаких клапанов, так что все причудливые движения воздуха происходят по законам гидродинамики. Интенсивности газообмена способствует наличие противоточной системы кровообращения в легких птиц, т.е. кровь и воздух движутся в противоположных направлениях, на встречу друг другу. Из-за этого "более свежие" порции воздуха контактируют с "более артериальной" кровью, что обеспечивает эффективный газообмен. Частота дыхательных движений, как и частота сердечных сокращений, тем больше, чем меньше масса птицы. У утки кряквы в покое - 10-16, у мелких воробьиных - 60-100 дыхательных движений в минуту.

**Кровеносная система.** Сердце у птиц - четырехкамерное, состоящее из левого и правого предсердий и левого и правого желудочков. Левая половина содержит артериальную кровь, правая — венозную. Два круга кровообращения, полностью изолированные друг от друга, в результате чего кровь не смешивается. Наличие четырёхкамерного сердца и двойного дыхания обеспечивают [теплокровность](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) птиц и очень высокую интенсивность их [метаболизма](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BC). Частота дыхательных движений у мелких птиц в покое составляет около 100 в минуту и в полёте, видимо, может возрастать. Частота пульса в покое — до 400—600, а в полёте — до 1000 ударов в минуту.

**Выделительная система**. Тазовые почки, мочеточники, клоака. Мочевого пузыря нет. Моча очень высокой концентрации, так как обмен веществ усиленный. Моча выводится вместе с калом (помет).

**Нервная система**. Представлена головным и спинным мозгом и отходящими от них нервами. В головном мозге наиболее развиты большие полушария переднего мозга и мозжечок, который отвечает за координацию движений. Хорошо развитый [головной мозг](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B3) позволяет птицам вырабатывать сложные формы поведения и [приспосабливаться](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%28%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%29) к самым разным ситуациям. Наиболее яркой демонстрацией умственных способностей птиц считается обучение певчих птиц пению, повторение человеческой речи [попугаями](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BF%D1%83%D0%B3%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B5), приёмы добывания корма у ряда видов и умение врановых решать сложные задачи, предлагаемые им в специальных экспериментах. Установлено, что у птиц способность к счёту развита лучше, чем у млекопитающих.

**Органы чувств.** У птиц хорошо развито зрение. Общее поле зрения у птиц составляет более чем 300›, т.к. поле зрения одного глаза 150-170›, а видит птица каждым глазом отдельно, а не обоими сразу, из-за их расположения. Бинокулярное зрение (там, где поля зрения обоих глаз совпадают) у птиц имеется, но его поле сравнительно мало - 20-30› (у человека - 150›). Экспериментально установлено, что птице требуется посмотреть на предмет обоими глазами по отдельности, чтобы как следует его рассмотреть и запомнить. Когда синице, прячущей корм, один глаз прикрывали колпачком, она не могла потом найти свои запасы.

У многих видов птиц высока способность глаза к аккомодации (изменению кривизны значка и глубины зрения), так, у баклана она равна 40-50 диоптриям (у человека - 14-15), однако у некоторых видов (куры, голуби) она достигает лишь 8-12 диоптрий. У быстро летающих птиц (ласточки, крачки) на сетчатке имеется не одно (как у человека), а несколько зон наиболее острого видения. Острота зрения у птиц в 4-5 раз выше, чем у человека. Хищные птицы видят даже мелкую добычу с очень больших расстояний.

**Строение крыла.**  Каждое крыло имеет главную поверхность, которой оно разрезает воздух, состоящую из трёх костей: [плечевой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), [локтевой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%BA%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) и [лучевой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C).

 Скелет птичьего крыла:
1. [крылышко](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D1%8B%D0%BB%D1%8B%D1%88%D0%BA%D0%BE) (придаточное крыло)
2. терминальная фаланга большого пальца
3. базальна фаланга большого пальца
4. малый палец
5-6. карпометакарпус
7. наружная локтевая кость
8. наружная лучевая кость
9. [лучевая кость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)
10. [локтевая кость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%BA%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)
11. [плечевая кость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)
12. [клювовидный отросток](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BA&action=edit&redlink=1)
13. [лопатка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B0)

Рис.5 Скелет птичьего крыла

Назначение [кисти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%8C_%28%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F%29) конечности – место крепления маховых [перьев](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BE) первого порядка, одной из двух главных групп [маховых перьев](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%8C%D1%8F), которые обуславливают форму крыла. Второй набор маховых перьев находится позади кистевого сустава локтевой кости и имеет название маховых второго порядка. Остальные перья называются кроющими и делятся на три набора. У гигантских [буревестников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5) и [альбатросов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5) также существует механизм закрепления [суставов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2) крыльев в одном положении для уменьшения нагрузки на мышцы во время парящего полёта. В полёте крылья приводятся в движение мощными летательными. Крыло поднимает [подключичная мышца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%86%D0%B0), а опускает — [большая грудная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%86%D0%B0); обе мышцы прикреплены к [грудине](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0).



Перья крыла птицы: 1 — маховые перья 1-го порядка; 2 — большие кроющие; 3 — крылышко; 4, 8 — маховые 2-го порядка; 5 — оперение плеча; 6 — средние кроющие; 7 — кроющие крыла

Рис. 6 Перья крыла птицы

**Перья крыла.** Главными перьями, используемыми для полёта и дающими крыльям и хвосту птиц их внешнюю форму, являются [маховые перья](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%8C%D1%8F). Маховые перья обычно делится на две-три главных группы: маховые перья 1-го (первостепенные), 2-го (второстепенные) и иногда 3-го порядка.

Маховые перья 1-го порядка крепятся с помощью сухожилий к костям кисти, 2-го порядка — к локтевой кости, 3-го — к плечевой кости. Для большинства видов птиц маховые перья 1-го порядка в наибольшей мере отвечают за способность летать: даже полное удаление других перьев с крыльев не влияет на дальность и скорость полёта, но заметное укорочение маховых перьев 1-го порядка, особенно [дистальных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F), практически лишает птиц способности летать. Большая часть площади маховых перьев покрыта так называемым кроющим оперением, которое защищает его и закрывает щели возле оснований. При потере птицей половины маховых перьев, машущий полёт возможен, однако подрезание кончиков маховых перьев делает его невозможным.

**Форма крыльев.** Форма крыла является важным фактором, определяющим тип и характеристики полёта, к которому способна птица. Разные формы крыльев отвечают разным решениям для создания нужных характеристик, таких как скорость полёта, затраты энергии и манёвренность.

Большинство видов птиц могут быть сгруппированы в несколько общих типов по форме крыльев. В частности, обычным делением является разделение на эллиптические крылья, крылья для скоростного полёта, крылья с относительно большим удлинением, и крылья для парящего полёта.

Рис.7 Форма крыла птицы

Форма крыла в двумерной горизонтальной проекции может быть приблизительно описана двумя параметрами: удлинением и нагрузкой на крыло. Удлинение крыла — это отношение размаха крыльев к средней ширине крыла (или квадрат размаха крыльев, разделённый на площадь крыльев) Нагрузка на крыло — отношение массы птицы к суммарной площади крыльев.

Воздух обтекает передний край крыла, а также выпуклую верхнюю поверхность. Это приводит к ускорению его движения и создаёт область пониженного давления, в то время как давление на нижнюю вогнутую поверхность крыла остаётся практически постоянным. Данная разница давления над крылом и под ним создаёт подъёмную силу.

**Эллиптические крылья** короткие и округленные, с небольшим удлинением, которое позволяет птицам маневрировать в ограниченном пространстве, например, в условиях густой растительности. Такие крылья характерны для лесных [хищных птиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B8%D1%89%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) (например, [ястреба](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%B1)) и многих [воробьинообразных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%8C%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B5), особенно [немигрирующих](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86) видов (мигрирующие виды птиц имеют длинные крылья для продолжительных перелётов). Также эта форма крыльев обычна у видов, которые избегают хищников за счёт быстрого взлёта, например, [фазанов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD) и [куропаток](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5).

**Крылья для скоростного полёта** короткие и заострённые, имеют высокую нагрузку на крыло и обеспечивают высокую частоту взмахов для наибольшей возможной скорости за счёт значительных затрат энергии. Такой тип крыльев характерен для небольших птиц и характеризуются очень большой относительной длиной кисти крыла. Этот тип крыльев характерен для птиц, способных развивать большую скорость полёта, таких как [сапсан](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BF%D1%81%D0%B0%D0%BD), [стрижи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B8_%28%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%8F%D0%B4%29) и большинство [утиных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%8B%D0%B5). Подобная форма крыльев характерна и для птиц группы [чистиковые](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), хотя и для другой цели — чистиковые используют крылья для ныряния и «полёта» под водой. Птицы с такими крыльями являются рекордсменами по скорости — [иглохвостый стриж](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D1%85%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B6) (Hirundapus caudacutus) развивает скорость до 170 км/ч, а [сапсан](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BF%D1%81%D0%B0%D0%BD) — до 300 км/ч. Сапсан является самым быстрым животным на земле.

**Крылья с относительно большим удлинением** являются очень длинными и стройными, и обычно они характеризуются низкой нагрузкой на крыло и используются для медленного полёта, почти парения. Такие крылья характерны для [буревестников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8), [крачек](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%87%D0%BA%D0%B8), [козодоеобразных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B5) и птиц, которые способны переходить на [динамическое парение](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%94%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&action=edit&redlink=1) над волнами для сохранения энергии, что распространенно среди [морских птиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B). Особым случаем этого типа являются крылья гигантских [буревестников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5) и [альбатросов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), наиболее приспособленных к продолжительному парению. Эти крылья характеризуются наименьшей относительной длиной кисти, около 25 % от длины крыла, и наибольшим числом маховых перьев второго порядка — 40. Эти птицы также имеют типичный для них механизм закрепления [суставов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2) крыльев и отличия в строении маховых перьев кисти

**Крылья для парящего полёта** относительно широкие и характерны для больших сухопутных птиц, таких как [орлы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D0%BB%D1%8B), [грифы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), [пеликаны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B5) и [аисты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%8B). Глубокие бороздки на концах крыльев между маховыми перьями уменьшают силу сопротивления воздуха, а относительно короткий размер позволяет подниматься с поверхности земли без потребности в значительном разгоне. Относительно подобны им крылья [цапель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B5) и [ибисов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B1%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), которые используют их для медленного машущего полёта

**Хвост.** Хвост принимает участие в стабилизации полёта и маневрировании за счёт как подъёмной силы, так и силы сопротивления.

В основе хвоста птиц лежат кости 5—7 позвонков и [пигостиль](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%8C), к которому крепятся рулевые перья хвоста. Число рулевых перьев хвоста различно у разных видов птиц, от их полного отсутствия у [поганковых](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5) до 22—24 у [пеликанов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D1%8B), [уток](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%8B%D0%B5) и [лебедей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D0%B4%D1%8C).

Рулевые перья хвоста способны раздвигаться, существенным образом увеличивая площадь. Также хвост может двигаться в двух направлениях с помощью шести пар мышц. Хотя у большинства птиц перья хвоста приблизительно одинаковой длины и образовывают плоский раскрытый хвост, форма хвоста может быть различной. Например, у [сороки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B0), [фазанов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), [олуш](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BB%D1%83%D1%88%D0%B8), некоторых [голубей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D1%8B%D0%B5) и [кукушек](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BA%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5) центральные перья длиннее, что придаёт хвосту округлую форму. У некоторых [фаэтонов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D1%8D%D1%82%D0%BE%D0%BD%D1%8B), [щурок](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A9%D1%83%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), [поморников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), некоторых [рябчиков](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8F%D0%B1%D1%87%D0%B8%D0%BA) и [птиц-секретарей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0-%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%8C) центральные перья намного длиннее. Наоборот, у [деревенской ласточки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0), [фрегатов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B0%D1%82%D1%8B_%28%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B%29) и некоторых [крачек](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%87%D0%BA%D0%B8) центральные перья намного короче, образовывая вилкообразный хвост.

Длинные жёсткие хвосты, особенно с длинными центральными перьями, наиболее приспособлены для создания аэродинамического сопротивления, способствуя стабильности полёта. В то же время, вилкообразные хвосты создают подъёмную силу почти без силы сопротивления, обеспечивая манёвренность при быстром полёте.

Морские птицы часто имеют очень короткие хвосты, так как при медленном полёте им не требуется манёвренность. У лесных птиц хвосты должны создавать высокую стабильность и иметь стойкость к столкновениям, для чего наиболее удобными являются длинные прямые хвосты

**3.2 Физические процессы, которые лежат в основе полета птиц**

 Возникновение аэродинамической силы в процессе полета птиц связано с изменением положения маховых перьев и площади крыла. При этом кистевая и основная части крыла двигаются с разной скоростью и под разными углами. Аэродинамика машущего птичьего крыла сильно отличается от аэродинамики самолетного крыла. Создаваемая [крылом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%82%D0%B8%D1%87%D1%8C%D0%B5_%D0%BA%D1%80%D1%8B%D0%BB%D0%BE) сила тяги имеет основную составляющую, ортогональную [вектору](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80_%28%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29) скорости набегающего потока ([подъёмная сила](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D1%8A%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0)), и небольшую, направленную по вектору скорости потока ([аэродинамическое сопротивление](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)). Поэтому для компенсации [силы тяжести](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B0_%D1%82%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8) вектор скорости должен иметь большую горизонтальную составляющую. На движение птицы в воздухе оказывает влияние действие нескольких факторов: силы тяги, силы тяжести и аэродинамического сопротивления. Их взаимодействие дает подъемную силу.

****

Рис.8 Влияние сил на крыло

С точки зрения физиологии, в полёте происходят изменения положения маховых перьев и изменения площади крыла: кистевая и основная части крыла птицы двигаются с разной скоростью и под разными углами

Машущее крыло можно условно разделить на три части — центральную, не совершающую машущих движений, и две концевых, имеющие большие вертикальные составляющие скорости и, как следствие, существенную горизонтальную составляющую аэродинамической силы. При этом при движении крыла вниз сила направлена вперед, при движении вверх — назад. Изменением [угла атаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BE%D0%BB_%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B8) этих частей крыла [модуль вектора](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C_%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0) аэродинамической силы может быть уменьшен до нуля (при движении вверх). Перемещение центра давления машущего крыла приводит к возникновению моментов по [тангажу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%B0%D0%B6), для компенсации которых необходимо горизонтальное оперение (хвост). В отличие от самолетов, вертикального оперения птицы не имеют, так как наличие двух крыльев позволяет создавать любые [моменты сил](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B)

В вертикальном полете крыло совершенно бесполезно, при пикировании птицы просто складывают крылья. В горизонтальном полете необходима компенсация горизонтальной составляющей аэродинамической силы (сила сопротивления) для сохранения скорости полёта, то есть создание вертикальной составляющей вектора скорости набегающего потока в системе координат крыла.

Аэродинамика машущего крыла в режиме зависания существенно сложнее из-за равенства нулю модуля вектора скорости набегающего потока. В этом случае вертикальная составляющая аэродинамической силы создается за счет горизонтальной составляющей скорости крыла относительно неподвижного тела птицы.

**3.3 Особенности адаптации птиц на разных этапах полета**

Полет птицы условно можно разделить на три этапа:

1) взлет ;

2) полет, в том числе :

 - машущий полет;

 - парящий полет

3) посадка

Способность птиц к полёту вызвала ряд адаптаций для обеспечения полёта, взлёта и посадки, ориентирования в пространстве и навигации.

**Взлет.** Стратегия взлёта существенным образом отличается, в зависимости от размера птицы. Птицы небольшого размера требуют относительно небольшой или даже нулевой начальной скорости, которая генерируется за счёт прыжка. Например, [сквор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%86)ец и [перепел](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BB), способны генерировать 80-90 % скорости полёта за счёт начального прыжка, достигая ускорения до 48 м/c². При этом скворцы часто используют энергию ветви, на которой сидят, хотя и не способны регулировать силу прыжка в зависимости от её толщины.

Другие небольшие птицы, такие как [колибри](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%B8_%28%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%29), чьи ноги слишком малы и тонки для прыжка, начинают махать крыльями ещё на земле, достигая подъёмной силы до 1,6 веса птицы.

Крупные птицы не способны взлетать с места, и им требуется начальная скорость для полёта. Чаще всего эта скорость достигается за счёт взлёта против ветра. В дополнение, часто птицы вынуждены делать пробежку по поверхности земли или воды.

Некоторые большие птицы, такие как орлы, используют скалы, верхние ветви деревьев или другие возвышения для получения скорости за счёт падения, [морские птицы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) часто способны достичь подобного эффекта за счёт взлёта с гребня волны.

**Полет.** Полёт птиц принято разделять на два основных типа:

- активный, или машущий

- пассивный, или парящий

Птицы обычно используют не один тип полёта, а комбинируют их. За взмахами крыльев следуют фазы, когда крыло не совершает движений: это скользящий полёт, или парение. Такой полёт характерен преимущественно для птиц средних и крупных размеров, с достаточной массой тела.

Слаборазвитая мускулатура крыла наблюдается у птиц с большой поверхностью крыла, преимущественно использующих парящий полёт. Развитой сильной мускулатурой, наоборот, обладают птицы с небольшой поверхностью крыла

**Машущий полёт** состоит из двух отдельных типов движения: рабочего хода и обратного хода. Во время рабочего хода крыло двигается вперёд и вниз, а обратный ход возвращает крыло в начальную позицию. При этом внутренняя часть крыла, в первую очередь, генерирует подъёмную силу, тогда как кисть генерирует тягу, которая толкает птицу вперёд. Во время рабочего хода маховые перья первого порядка, сведённые вместе, формируют плотную обтекаемую поверхность крыла. Наоборот, во время обратного хода маховые перья первого порядка многих, особенно небольших, птиц поворачиваются вокруг своей оси, обеспечивая движение воздуха между ними. Крупные птицы или длиннокрылые маленькие птицы полностью или частично сгибают крылья, приближая их к туловищу.

Машущий полёт разнообразен и в большинстве случаев зависит от размеров птицы, её биологических особенностей и экологических условий проживания. Принято различать несколько видов машущего полёта:

хлопающий ([куриные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%8B%D0%B5) во время взлёта);

вибрационный полёт ([стрижи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B8_%28%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%8F%D0%B4%29) и [колибри](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%B8_%28%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%29));

волнообразный ([ласточки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8));

трепещущий ([пустельга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B0)).

**Парящий полёт** – это полёт без активных затрат энергии со стороны птицы, который осуществляется или за счёт потери скорости, высоты или за счёт использования движения воздуха для получения энергии.

Для птиц, использующих парящий полёт, характерными являются крупные размеры тела и малые размеры сердца в связи с отсутствием усиленной работы мускулатуры. Крылья таких птиц обычно длинные, имеют одинаково длинные плечо и предплечье, короткую кисть. Имеет место развитие несущей поверхности второстепенных маховых перьев, количество которых у грифов достигает 19—20, а у альбатросов 37. У наземных видов крылья обычно широкие, в то время как у морских видов они узкие.

Рис. 9.Парящий полет

Различают парение динамическое и статическое.

**В основе статического парения птиц** лежит использование потоков обтекания или воздушных термических потоков.

Препятствия для ветра, такие как [холмы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BC), [скалы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0), [лесополосы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%B0) и другие, заставляют воздух двигаться в вертикальном направлении. Много видов птиц способны пользоваться такими восходящими потоками. Например, при наблюдениях за полётом [пустельги](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B0) было установлено, что при ветре скоростью 8,7 м/с птицы всегда держались на высоте 6,5 ± 1,5 м над наветренной стороной, поддерживая угол атаки крыльев между 6° и 7°.

Ещё один тип парения связан с использованием птицам термических потоков — потоков восходящего воздуха, которые возникают вследствие нагрева воздуха возле поверхности земли. [Термики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0) чаще всего возникают над плоскими и ровными поверхностями, в какой-то одной точке. Этим методом пользуется много крупных птиц, удерживаясь в центральной части [термика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0) за счёт кружения на месте. Такое поведение характерно для многих [хищных птиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B8%D1%89%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B), в частности [грифов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), [коршунов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%88%D1%83%D0%BD), [канюков](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D1%8E%D0%BA%D0%B8). Этим методом также пользуются и [аисты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5), [пеликаны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D1%8B) и другие птицы, которые не являются хищными. Птицы, которые используют воздушные термальные потоки, имеют небольшое удлинение крыла (приблизительно 15:1), что позволяет им совершать скоростное парение, в отличие от, например, альбатросов. Такое удлинение крыла позволяет кружить кругом меньшего радиуса, и помогает оставаться в пределах [термика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0).

**В основе динамического парения** лежит атмосферное явление является разность скорости ветра на разных расстояниях от поверхности, особенно заметная над океаном. При сильном ветре (7 баллов по [шкале Бофорта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0_%D0%91%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0)) его скорость составляет 15 м/с на высоте 10 м, но лишь 10 м/с на высоте 1 м. Динамическое парение свойственно крупным океаническим птицам. [Альбатросы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B) и много других [морских птиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) активно используют эту разность. Для этого птица периодически поднимается и опускается, набирая горизонтальную скорость в более быстрых верхних слоях воздуха и вертикальную в нижних слоях, за счёт большей, чем у окружающего воздуха, скорости полёта.

 Морские птицы также используют ещё два механизма парения, связанные с наличием волн. Первый тип аналогичен описанному выше динамическому парению и связан с возникновением восходящих потоков воздуха перед волной. Так, типичная волна высотой 1 м и шириной 12 м способна образовать восходящий поток воздуха скоростью 1,65 м/с. Много птиц, таких как [альбатросы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B), [глупыши](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%8B%D1%88%D0%B8), [чайки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D0%B9%D0%BA%D0%B8) и [пеликаны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D1%8B), при полёте постоянно балансируют на наветренной стороне волны, пользуясь этими потоками. Движение происходит параллельно гребню волны. Когда же волна заканчивается, птица двигается по инерции, разыскивая новую волну. Реже птицы могут двигаться и вместе с волной.

Другой способ получать энергию от волн состоит в том, что за волной всегда находится участок более спокойного воздуха. Птицы, такие как альбатросы и [буревестники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA), часто летают над ними, постоянно поднимаясь и опускаясь, фактически пользуясь механизмом динамического парения.

**Посадка.** При посадке птицы уменьшают вертикальную и горизонтальную составляющие скорости. Для этого достаточно увеличить подъёмную силу крыла (даже крупные птицы поднимают в воздух добычу, вес которой превышает вес птицы). С этой целью птицы увеличивают угол атаки крыльев вплоть до [свала](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5), ориентируют тело вертикально и широко раздвигают крылья и хвост для увеличения встречного сопротивления воздуха. Одновременно они вытягивают вперед ноги, чтобы [амортизировать](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%28%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29) посадку. При этом тело птицы участвует в двух движениях − по окружности в вертикальной плоскости за счет аэродинамической силы, направленной ортогонально к вектору скорости машущего крыла и ускоренного падения под действием силы тяжести.

В определенные моменты времени под действием этих сил проходят через нуль обе составляющие скорости. Выбором величины [аэродинамической](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0) силы эти моменты времени можно совместить, то есть скорость тела птицы обратить в нуль. При этом крыло должно совершать движение по окружности в вертикальной плоскости с постоянной скоростью, то есть перемещается вверх относительно тела птицы, как показано на фото.

Ноги позволяют амортизировать удар при посадке. Однако, эффективность амортизации с помощью ног сильно варьирует у разных видов птиц. У птиц, которые проводят в воздухе большую часть времени, таких как [колибри](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%B8_%28%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%29), [стрижи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B8_%28%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%8F%D0%B4%29) и [ласточки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8), ноги слабые и не являются функциональными для этой цели, напротив, у [тетеревов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B0) и [куропаток](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B0) ноги сильные, способные полностью амортизировать медленный полёт этих птиц.

Механизм использования ног также варьируется. Крупные птицы обычно выставляют ноги вперёд, увеличивая сопротивление воздуха и готовясь к столкновению с поверхностью. Птицы небольших размеров обычно вовлекают в процесс ветви, на которые птица собирается приземлиться.

В дополнение к амортизации ногами, большинство птиц вынуждено использовать дополнительные механизмы. Так, большинство хищных птиц всегда приземляется против ветра. При этом почти всегда их крылья разведены в стороны, а [придаточное крыло](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BA%D1%80%D1%8B%D0%BB%D0%BE) полностью развёрнуто. Большинство крупных птиц, например, [сойка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%B0), перед посадкой двигаются ниже места самой посадки (ветви или скалы), а за несколько метров до цели поднимаются вверх без машущих движений крыльями. Этот подход позволяет достигать почти нулевой скорости даже при отсутствии ветра.

Рис.10. Посадка

Уменьшение скорости не столь важно для [водоплавающих](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) и некоторых [морских](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) птиц, которые, способны гасить скорость об воду с помощью своих широких ног. Ноги не обязательно должны иметь перепонки для торможения — такие птицы, как [аисты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%8B), [цапли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D1%8F) и [журавли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%8C), имеют идеальные для этих целей ноги. Хотя эти птицы и способны к посадке на горизонтальную поверхность земли, часто они делают это довольно неуклюже.

**Таким образом, с точки зрения приспособления к полету в строении птицы имеются следующие особенности:**

1. Перья, крылья и хвост являются основными (но не единственными) адаптивными особенностями птиц к полету.
2. Покров, состоящий из различных типов перьев, участвует и в аэродинамике (оперенье хвоста и крыльев) и в терморегуляции, создает «обтекаемую» поверхность тела и предохраняют кожные покровы от повреждений.
3. Передние конечности (крылья) освобождены от поддержания тела при ходьбе, стоянии, сидении. Их функция сводится к обеспечению передвижения по воздуху.
4. Хватательные функции выполняет клюв, что обеспечивается подвижностью затылочного сочленения, и сильным развитием вращающих голову мускулов, а также перенесением центра тяжести головы назад.
5. Скелет туловища легкий, прочный и малоподвижный служит опорой при полете, напоминая остов самолета. Большие размеры грудины создают опору при полете для внутренних органов, а большой ее гребень - (киль) служит местом прикрепления мощной мускулатуры, управляющей движением крыла.
6. Птицы прочно прирастают к ребрам, движение ребер при полете автоматически стимулирует работу дыхательного аппарата.
7. Сращение ряда костных элементов задних конечностей, дают задним конечностям крепкую опору: короткое и крепкое бедро, слияние плюсневых костей облегчает поддержание равновесия в момент, когда птица садится на землю или на ветку; крепкая и длинная цевка облегчает отталкивание при взлете и делает птицу более устойчивой.
8. Пальцы ног у птиц хорошо развиты и представляют собой самые различные типы адаптации к способу передвижения: у птиц, живущих в болотистых местах и передвигающихся по мягкой поверхности они очень длинны; у древесных птиц наблюдаются сложные приспособления к охвату ветвей и определенные зависимости между длиной пальцев и размерами сучков, на которые садятся те или иные виды; у водных форм развиваются плавательные перепонки и т.д.
9. Дыхательная система направлена на создание максимальной концентрации кислорода в крови, что необходимо для обеспечения высоких затрат энергии и высокой скорости [метаболизма](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BC). Однонаправленный ток воздуха в лёгких ([двойное дыхани](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%94%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D1%8B%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5&action=edit&redlink=1)е), позволяет легким птиц насыщаться кислородом как при вдохе, так и при выдохе.
10. [Воздушные мешки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%88%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%88%D0%BA%D0%B8) обеспечивают эффективное охлаждение тела при интенсивной работе мышц во время полёта.
11. Высоко развитый головной мозг, позволяет птицам превосходно ориентироваться в трёхмерной среде и сохранять координацию сложных движений.
12. Наличие в структуре сетчатки глаз некоторых видов птиц нескольких зон наиболее острого видения и способность глаза птицы к аккомодации, позволяют птицам различать мелкие предметы на земле с большой высоты. При этом птица должна видеть предмет обоими глазами.

**Вывод. Основными адаптациями птиц к полету являются крылья, перья и хвост. Их взаимодействие позволяет птицам создавать аэродинамическую силу, которая позволяет подниматься в воздух и преодолевать огромные расстояния. В целях оптимизации расхода энергии на разных этапах полета, в строении скелета, функционировании систем кровообращения, дыхания и выделения птиц возник ряд дополнительных адаптаций, которые делают полет энергетически целесообразным.**

**4.Как летают рыбы**

**4.1 Особенности строения летучих рыб**

Кроме птиц, перемещаться по воздуху могут и рыбы, первоначальная среда обитания которых - морская стихия. В Индо-западно-тихоокеанской области, в восточной части Тихого океана, а также в [Красном море](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%B5)  и в [Средиземном](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%B5) морях обитают так называемые «летучие рыбы», отличительной особенностью которых является их необычно большие грудные плавники, позволяющие рыбам выпрыгивать из воды и осуществлять непродолжительный парящий [полёт](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%91%D1%82). Рассмотрим, как происходит полет у живых существ, изначально приспособленных к жизни в воде и какие основные адаптации им для этого необходимы.

**Строение летучих рыб**. Тело вытянутое, с широкими высокорасположенными грудными плавниками. Длина тела от 15 до 40—50 см. Окраска серо-голубая, без заметных поперечных тёмных полос.

Спинка более тёмная. Грудные плавники у различных видов могут быть прозрачными, синими, зелеными, коричневыми, с пёстрыми пятнами или полосами. Рыло тупое. Зубы только на челюстях. Второй луч грудных плавников примерно до середины раздвоен.

Рис.11 Строение летучей рыбы

Спинной плавник сильно отодвинут назад, обычно с 12—14 лучами. Анальный плавник состоит из 8—10 лучей. Нижняя лопасть хвостового плавника удлинена. Длинные брюшные плавники с 6 лучами. Плавательный пузырь без воздушного протока к передней кишке

**Полет.** При опасности, а иногда и без видимых причин, рыбы выполняют скользящий парящий полёт: при помощи сильных ударов хвостом они быстро выскакивают из воды и парят по воздуху, используя свои широкие грудные плавники. Способность к парящему полёту выражена у разных видов в неодинаковой степени и зависит от размера рыбы и количества плавников для полёта.

Рис.12 Взлет летучей рыбы

Эволюция полета в пределах семейства происходила в двух направлениях. Одно из них привело к образованию летучих рыб, использующих при полете только грудные плавники.

Другое направление представлено летучими рыбами, использующими для полёта как увеличенные грудные, так и брюшные плавники. Также приспособление к полету отразилось и в строении хвостового плавника, лучи которого жестко соединены между собой и нижняя лопасть больше верхней; в развитии крупного плавательного пузыря продолжающегося под позвоночником до самого хвоста.

Дальность полёта у видов с короткими грудными плавниками меньше, чем у видов с длинными плавниками. Виды, использующие для парения только грудные плавники, летают хуже видов, использующих для полета не только грудные, но и брюшные плавники. Рыбы могут изменять угол наклона плавников, влияя на направление полета. Взлетев под углом 30—45 градусов к поверхности воды, с начальной скоростью, увеличивающейся от 30-35 до 80 [км/час](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BC/%D1%87%D0%B0%D1%81), рыбы планируют по воздуху, постепенно снижаясь обратно к воде.

Наибольшей дальности и продолжительности достигает полет «четырехкрылых» летучих рыб. Развив в воде значительную скорость, такая рыба выскакивает на поверхность моря и некоторое время (иногда совсем недолго) скользит по ней с расправленными грудными плавниками, энергично ускоряя движение при помощи колебательных движений, погруженной в воду длинной нижней лопасти хвостового плавника. Еще находясь в воде, летучая рыба достигает скорости около 30 км/час, а на поверхности увеличивает ее до 60—65 км/час. Затем рыба отрывается от воды и, раскрыв брюшные плавники, планирует над ее поверхностью. В некоторых случаях летучая рыба при полете касается воды хвостом и, вибрируя им, получает при этом дополнительное ускорение. Количество таких касаний может достигать трех-четырех, причем в этом случае продолжительность полета, естественно, возрастает. Обычно летучая рыба находится в полете не более десяти секунд и пролетает за это время несколько десятков метров, но иногдадлительность полета увеличивается до 30 секунд, а дальность его доходит до 200 и даже 400 м. По-видимому, длительность полета в какой-то степени зависит от атмосферных условий, так как при наличиислабого ветра или восходящих токов воздуха летучие рыбы пролетают большие расстояния и дольшенаходятся в полете.

Управлять своим полетом летучая рыба неспособна, поэтому нередки случаи, когда они врезаются в борт судна или падают на палубу. Во время плавания «[Кон-Тики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD-%D0%A2%D0%B8%D0%BA%D0%B8)» был зафиксирован случай, когда летучая рыба сбила с ног одного из членов экипажа.

**Таким образом, с точки зрения приспособления к полету в строении рыб имеются следующие особенности:**

1. Сигарообразное строение тела.
2. Разросшиеся грудные плавники, брюшные плавники, позволяющие использовать для полета потоки воздуха
3. Лучи хвостового плавника жестко соединены между собой и нижняя лопасть больше верхней
4. Возможность управлять полетом отсутствует.

**Вывод. В отличие от птиц, летучие рыбы не способны совершать перелеты на большие расстояния. В основе их полета лежит не создание аэродинамической силы при помощи слаженной работы крыльев и оперенья, а преобразование энергии движения в морском пространстве, а в процесс парящего полета в воздухе при помощи плавников. Адаптации к полету у рыб значительно скромнее, чем у птиц и выражаются в том, что летучие рыбы имеют сильно разросшиеся грудные плавники и, иногда, брюшные плавники, а также особое строении хвостового плавника.**

**5.Как летают рукокрылые**

**5.1 Особенности строения рукокрылых (на примере летучих мышей)**

Летучие мыши относятся к отряду рукокрылых. Их основной способ передвижения — машущий полёт.

**Строение тела.** Голова имеет широкую ротовую щель, маленькие глаза и крупные, иногда сложно устроенные ушные раковины с кожным выростом основания слухового прохода. Волосяной покров густой, одноярусный. Кожная перепонка покрыта редкими волосками. Локтевая и часто малая берцовая кость - рудиментарны; лучевая кость удлинена и искривлена, длиннее плечевой; хорошо развита ключица; плечевой пояс более мощный, чем пояс задних конечностей.

Рис.13 Полет летучей мыши

Грудина имеет небольшой [киль](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BB%D1%8C_%28%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%29). В связи с питанием животными или мягкими плодами пищеварительный тракт лишь в 1,5—4 раза превышает длину тела, желудок простой, слепая кишка часто отсутствует. Размеры рукокрылых — мелкие и средние: 2,5—40 см.

**Строение крыльев.** Передние конечности превращены в [крылья](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D1%8B%D0%BB%D0%BE) (рис.13). Но крылья рукокрылых существенно отличаются от крыльев [птиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B). Скелет крыла летучей мыши состоит из сильно удлинённых костей предплечья и пальцев, поддерживающих и натягивающих тонкую эластичную перепонку крыла. Кожная летательная перепонка натянута между вторым-пятым пальцами передних конечностей, предплечьем, плечом, боками тела, задними конечностями и хвостом. Короткий первый палец передних конечностей имеет коготь. Многие летучие мыши имеют также хвостовую перепонку между задними конечностями. Перепонка пронизана сосудами, мышечными волокнами и нервами. Она может принимать существенное участие в газообмене рукокрылых, поскольку имеет значительную площадь и достаточно малый аэрогематический барьер. В холодную погоду рукокрылые могут заворачиваться в свои крылья, как в плащ. Кости рукокрылых мелкие и тонкие, что является приспособлением к полёту.

Уникальная кость, называемая шпорой, отходит от пятки и поддерживает заднюю кромку перепонки. Совершая движения пальцами, руками, ногами и шпорами, летучие мыши могут управлять своими крыльями бесчисленным количеством способов, что делает их превосходными летунами.

**5.2 Физика полета летучих мышей на отдельных этапах полета**

Мускулатура крыла летучих мышей расположена иначе, чем у птиц. У птиц крыло поднимает [подключичная мышца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%86%D0%B0), а опускает — [большая грудная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%86%D0%B0); обе мышцы прикреплены к грудине. У летучих мышей крыло поднимают несколько мелких мышц, а опускают три мускула; из них только грудной мускул прикрепляется к грудине. Теплоотдача с относительно большой поверхности крыльев сокращается тем, что её температура из-за слабого кровоснабжения примерно на 7—9 °C ниже температуры тела.

**Взлет**. Рукокрылые могут взлетать как с высоко расположенных пунктов (потолка пещеры, ствола дерева), так и с ровной земли и даже с водной поверхности. В этом случае взлёт начинается с прыжка вверх, происходящего в результате сильного порывистого движения передних конечностей.

**Полет.** Летучие мыши слишком массивны, чтобы летать, как птицы. Как оказалось, они летают, как насекомые. Острый передний край перепончатого крыла разрезает воздух при полете таким образом, что над крылом создается воздушный вихрь, который обеспечивает примерно 40% подъемной силы, создаваемой взмахами.

В первой фазе взмаха крыла его движение происходит в равной степени в направлении полета (вперед) и вниз, при этом передняя кромка крыла оказывается наклонена под острым углом к направлению движения. В результате над крылом образуется достаточно мощный воздушный вихрь, который перемещается вплотную к крылу на протяжении всей первой половины взмаха, пока крыло опускается вниз. Для того чтобы сохранить короткую дистанцию между воздушным завихрением, мышь совершает очень тонкие движения крылом во время взмаха, меняя его кривизну. В итоге подъемная сила взмаха увеличивается почти вдвое.

Медленный полет и порхание - сложная техническая задача для животных, а использование кривизны крыла для формирования вихревых потоков является неоспоримым преимуществом перед традиционным полетом, который осуществляется исключительно за счет частоты взмахов крыла.

**Посадка.** Завершение полёта связано с особым риском — нужно сбросить скорость, но не упасть. [Птицы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B) сбрасывают скорость перед приземлением с помощью крыльев, но летучие мыши завершают полёт вниз головой, выполняя специальные манёвры, получившие название тактики «четыре касания» и «два касания». Чтобы благополучно приземлиться на поверхность вниз головой, они выполняют сложнейшие акробатические трюки. Дополнительная сложность заключается в том, что у летучих мышей самые лёгкие и хрупкие кости среди всех млекопитающих, что является приспособлением к полёту для уменьшения массы тела и смещения центра тяжести. Но эта адаптация усложняет посадку: конечности испытывают большую ударную нагрузку и могут быть повреждены. Работая над корректировкой негативных эффектов в ходе эволюции, летучие мыши стали максимально сокращать нагрузку на кости при приземлении и научились разным приёмам акробатики. Различные виды летучих мышей используют различные тактики. Однако, все 1200 видов рукокрылых владеют тактикой приземления вниз головой.

**Тактика «четырёх касаний»** у [малайского коротконосого крылана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D1%8B%D0%BB%D0%B0%D0%BD). Коротконосые крыланы подлетают к потолку с расправленными крыльями. Как только происходит соприкосновение с потолком, конечности вытягиваются, и животные хватаются за решётку, прикрепленную к потолку пещеры, большими пальцами передних конечностей одновременно с пальцами задних конечностей. Затем они совершают кувырок назад через голову и повисают вниз головой. При таком приземлении мышь испытывает четырёхкратные перегрузки. Иногда при таком приземлении рукокрылые даже ударяются головой о потолок. Летучие мыши, применяющие такую тактику, чаще приземляются на деревья, поскольку питаются растительной пищей. Эта среда сама по себе не такая жёсткая, как каменные стены пещеры.

**Тактика «двух касаний»** используется [очковым листоносом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%81) и [землеройкообразным длинноязыким вампиром](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B2%D0%B0%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D1%80). Они подлетают перпендикулярно к поверхности решётки, но в самый последний момент отклоняются вправо или влево. А затем хватаются за решётку, но уже только пальцами задних конечностей. Такое приземление гораздо более плавное, а перегрузки при ударе составляют всего одну треть веса тела животного. Тактика применяется насекомоядными летучими мышами и вампирами, которые приземляются на каменные стены пещер. Такие летучие мыши имеют эволюционное превосходство, поскольку при приземлении испытывают гораздо меньшую силу удара.

**Эхолокация**. Летучие мыши обнаруживают предметы, преграждающие им путь, испуская неслышимые для человека звуки и улавливая их эхо, отражённое от предметов. До открытия ультразвуковой [эхолокации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) предполагалось, что летучие мыши обладают [экстрасенсорным восприятием](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BD%D0%B5%D1%87%D1%83%D0%B2%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B5). Их лишали возможности использовать зрение, покрывали крылья плотным лаком, чтобы лишить возможности чувствовать воздушные потоки, и всё равно они избегали расположенных в экспериментальной камере препятствий.

Во время полёта летучие мыши поют песни, используя сложные сочетания слогов, на высоких частотах (что обусловлено их способностью к эхолокации). Они создают ультразвуковые волны от 40 до 100 [кГц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86_%28%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29). Зов [бразильского складчатогуба](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B3%D1%83%D0%B1) включает от 15 до 20 слогов. Ухаживая за самкой, каждый самец поёт свою собственную песню, хотя в целом мелодии всех песен похожи. Разница заключается в индивидуальном сочетании различных слогов. Сложные голосовые сообщения используются не только для ухаживаний, но также для опознавания друг друга, обозначения социального статуса, определения территориальных границ, при воспитании потомства и при противодействии особям, вторгшимся на чужую территорию. [Эхолокационные сигналы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) у детёнышей развиваются из призывных криков.

Летучие мыши, которые питаются рыбой (например, [мексиканская рыбоядная мышь](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D1%8B%D0%B1%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%8C&action=edit&redlink=1)), патрулируют водную поверхность по ночам, излучая весьма сильные эхолокационные сигналы. Однако эти сигналы не проникают в толщу воды. Мышь не обнаружит рыбу, находящуюся под водой, но сразу же найдёт, если рыба высунет из воды хотя бы небольшую часть тела.

Эхолокация летучих мышей различается в разных семействах. [Подковоносы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%8B) излучают сигналы через нос, и эти сигналы представляют собой короткие (50—100 мс) ультразвуковые посылки с постоянной частотой 81—82 кГц, но в конце сигнала частота резко падает на 10—14 кГц. А [гладконосые летучие мыши](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%8B%D0%B5_%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%83%D1%87%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%B8) излучают через рот существенно более короткие (2—5 мс) сигналы с частотой, которая за это время падает со 130 до 30—40 кГц. Длина волны типичных локационных сигналов летучей мыши — около 4 мм.

**Таким образом, с точки зрения приспособления к полету в строении рукокрылых имеются следующие особенности:**

1. Кости рукокрылых мелкие и тонкие, что является приспособлением к полёту.
2. Скелет крыла летучей мыши состоит из сильно удлинённых костей предплечья и пальцев, поддерживающих и натягивающих тонкую эластичную перепонку крыла.
3. Кожаная перепонка имеет значительную площадь и достаточно малый аэрогематический барьер. Она участвует в системе газообмена рукокрылых.
4. Возможность изменения кривизны крыла
5. Разрезание воздуха при полете таким образом, что над крылом создается воздушный вихрь, который обеспечивает примерно 40% подъемной силы, создаваемой взмахами.
6. Приземление вниз головой.
7. Эхолокация, как способ ориентации на местности в процессе полета.

**Вывод. Основные преимущества рукокрылых перед птицами связаны со способностью рукокрылых изменять кривизну крыла. При этом увеличивается подъемная сила и уменьшаются затраты энергии на взлет. Однако, из-за слишком большого соотношения массы тела и размеров крыла, рукокрылые не способны перемещаться на большие расстояния и, тем самым, составлять конкуренцию птицам в воздушных просторах.**

**6. Сравнение результатов исследования адаптаций птиц, рыб и рукокрылых**

 В таблицу сведены общие результаты исследований способности к полету отдельных животных:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   | **Птицы** | **Летучие рыбы** | **Рукокрылые** **(летучие мыши)** | **Человек**  |
| **Основные адаптации** |
| Крылья | Крылья различных форм, приспособленные для создания подъемной силы, изменения скорости полета, затрат энергии и манёвренности. Крыло поднимает [подключичная мышца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%86%D0%B0), а опускает — [большая грудная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D1%8B%D1%88%D1%86%D0%B0); обе мышцы прикреплены к грудине. | Разросшиеся грудные плавники, брюшные плавники, позволяющие использовать для полета потоки воздуха,  | Кожная перепонка позволяет создавать подъемную силу, изменять скорость полета, регулировать затраты энергии. Крыло поднимают несколько мелких мышц, а опускают три мускула; из них только грудной мускул прикрепляется к грудине | Крылья отсутствуют.Мускульной силы недостаточно для создания подъемной силы рук. |
| Хвост | Хвосты различной формы предназначены для стабилизации полета и маневрирования. | Лучи хвостового плавника жестко соединены между собой и нижняя лопасть больше верхней. Хвост используется для разгона в воде при увеличении продолжительности полета. | У большинства видов есть хвост, который охвачен перепонкой.  | Отсутствует. |
| Кожный покров | Оперение служит для терморегуляции, оперение крыла и хвостовое оперение непосредственно участвует в создании подъемной силы, управлении скоростью полета и маневрировании. | Чешуя, специального покрова для адаптации к полету нет. | Кожа, кожная перепонка на крыльях пронизана сосудами, участвует в системе газообмена. | Кожный покров к полету не приспособлен |
| **Дополнительные адаптации** |
| Скелет | Наличие трубчатых костей значительно облегчает вес костей скелета. Сращивание позвонков придает скелету особую прочность  | Специальных адаптаций нет | Чрезвычайно тонкие кости значительно облегчают вес скелета | Специальных адаптаций нет |
| Дыхание | Наличие двойного дыхания позволяет значительно обогащать кровь кислородом, что позволяет вырабатывать дополнительную энергию | Специальных адаптаций нет | Специальных адаптаций нет | Специальных адаптаций нет |
| Нервная система | За навигацию и ориентацию в полете отвечает развитый мозжечок | Специальных адаптаций нет | Способность к эхолокации. | Нервная система позволяет ориентироваться на земле. |
| Зрение  | Острое зрение позволяет разглядеть на земле мельчайшие детали | Специальных адаптаций нет | Специальных адаптаций нет | Специальных адаптаций нет. Зрение слабее, чем у птиц, но острее, чем у летучих мышей |
| **Способность к созданию общих условий полета** |
| Создание подъемной силы | Участвуют крылья, покровные перья крыльев. Подъемная сила возникает в процессе интенсивных взмахов крыльями в процессе работы мускулатуры крыла. | Участвует все тело и хвост. Подъемная сила возникает в процессе разгона рыбы в воде. | Участвуют крылья, подъемная сила возникает в тот момент, когда край перепончатого крыла разрезает воздух в полете таким образом, что над крылом создается воздушный вихрь. Участвует мускулатура  | Нет |
| Способность регулировать затраты энергии | Присутствует при парящем полете. Присутствует способность дополнительно вырабатывать энергию за счет двойного дыхания | Присутствует при парящем полете | Присутствует при взлете за счет способности изменять кривизну крыла | Специальных адаптаций нет |
| Способность к навигации, ориентации в пространстве и маневрированию. | Присутствуют. Связаны с развитым мозжечком. Маневрированию способствует хвост. | Способность к навигации в воздухе - отсутствует. Изменяя угол наклона плавника, рыба может немного отклоняться в сторону. Общая способность управлять полетом - отсутствует  | Присутствуют. Способность к навигации связана с наличием эхолокации, к маневрированию - со способностью изменять кривизну крыла. | Присутствует на суше и в воде как следствие высшей нервной деятельности. |

Согласно данным сравнительного анализа, изложенного в представленной выше таблице, у человека отсутствует ряд существенных адаптаций, которые позволили бы ему подниматься в воздух и летать как птицы или летучие мыши. Основными из отсутствующих адаптаций являются:

* отсутствие эффективного механизма создания подъемной силы и силы тяги;
* отсутствие способностей к изменению скорости полета и маневрированию;
* отсутствие способностей к регулированию затрат энергии.

По сути своей все три отсутствующие адаптации касаются неспособности человека преобразовать работу мускулов в подъемную силу и последующее ее преобразование.

**Заключение**

Согласно диаграмме Дугласа Уилки около 60% всех живых существ на планете потенциально способны летать.

Мощность, требуемая для полета тела, пропорциональна весу тела, возведенному в степень 1,167.



Самолет в процессе полета теряет 30% от первоначальной массы за счет выгорания топлива.

Птицы ежедневно потребляют корм от 50% до 80% от своего веса.

В настоящее время население Земли составляет более 7 млрд. человек. Если бы каждый из людей ежедневно употреблял бы в пищу до 50% от своего веса, это составило бы около 175 млн.т органической пищи.

Рис. 14. Диаграмма Уилки.

Наша планета не смогла бы прокормить такое количество «летающих» людей и на Земле начался бы голод. Возможно поэтому живым существам, весом более 12 кг, летать энергетически не выгодно, и природа не предусмотрела для них адаптаций, которые позволяли бы им подняться в воздух.

Таким образом моя гипотеза о том, что человек может летать, не прибегая к дополнительным приспособлениям, оказалась ошибочной.

Но у человека есть разум, который позволяет ему придумывать все новые и более совершенные конструкции, способные поднять его в воздух, на основании наблюдений за птицами и рукокрылыми.

Я не жалею, что темой моего исследования была способность живых существ подниматься в воздух. Хоть результат исследований и оказался отрицательный, в процессе анализа я узнала много нового и интересного из жизни животного мира.

**Список литературы**

1. Е.Н.Стариков, Ю.Н.Коврижный. Основы аэродинамики летательного аппарата.-Ульяновск: УВАУ ГА, 2003. – 152 стр.
2. Тур Хейердал. Экспедиция «Кон-Тики». – М: «Мысль», 1972.- 50 стр.
3. Открытые источники.