

УДК 629.7  
ББК 39.5  
К19

**Накамура Кандзи**

К19 Почему самолёты летают / пер. с япон. А.Б. Клионского. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 132 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-649-0**

Человечество с давних времён стремилось к покорению небес. Но даже в наши дни, когда летательные аппараты уже не воспринимаются как чудо, немногие задумываются над тем, что позволило изобретателям открыть секрет воздухоплавания.

В этой книге речь пойдёт об устройстве самолётов, о законах аэродинамики, о том, что позволяет летательным аппаратам свободно преодолевать огромные расстояния. Отдельная глава посвящена работе реактивного двигателя. Рисунки и схемы упрощают понимание теоретического материала.

Издание предназначено для всех, кто интересуется самолётами и авиационной техникой.

УДК 629.7  
ББК 39.5

All rights reserved. This work may not be translated or copied in whole or in part without the written permission of the author, except for brief excerpts in connection with reviews or scholarly analysis. Use in connection with any form of information storage and retrieval, electronic adaptation, or computer software is forbidden

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-537-26174-5 (япон.)  
ISBN 978-5-97060-734-3 (рус.)

© 2017 Nakamura Kanji  
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2020

# Предисловие о редакторе

Так вышло, что эту книгу редактировал мой друг Саша Щербаков.

И не успел закончить...

Он был прекрасным человеком и очень любил и отлично знал небо и самолёты, хотя всю жизнь занимался базами данных и программированием.

Слишком рано и несправедливо он ушёл, – и эта книга ещё одна прекрасная память о его делах.

Саша был очень известным человеком в интернет-кругах, ведь это ему мы обязаны созданием и устойчивой работой доменных зон RU и РФ.

Ну а кто-то обязан ему и жизнью — Саша не раз спасал заблудившихся в лесу совершенно незнакомых людей, пролетая на своём дельталёте сотни километров.

Когда я смотрю на небо — всегда вспоминаю только о хорошем.

Ясного неба тебе, друг.

Твоим сыновьям на добрую память, ты был хорошим отцом.



*Заместитель главного редактора ДМК Пресс  
Сенченкова Елена*



# Предисловие

С тех пор как братья Райт совершили первый полёт, небо встречает нас так же, как и прежде, а вот самолёты значительно продвинулись по пути прогресса. Особенно в настоящее время они стремительно развиваются вместе с компьютерами. Однако базовые принципы, связанные с полётом в небе, сильно не изменились даже со времени первого полёта братьев Райт. В этой книге мы обратим основное внимание на наивные вопросы, которые мы задавали себе в детстве, например: как может свободно летать в небе самолёт, весящий чудовищно много – примерно 400 т; как реактивный двигатель создаёт большую силу тяги и др. По возможности, избегая сложных специальных терминов, и, даже немного пожертвовав строгостью, будем вести рассказ так, чтобы его можно было понять интуитивно.

Мы будем очень рады, если эта книга станет полезной для уважаемых читателей, любящих самолёты.

Прекрасный день 2017 года.  
Накамура Кандзи





Предисловие о редакторе.....	5
------------------------------	---

Предисловие .....	6
-------------------	---

<b>Глава 1. Почему самолёты умеют летать .....</b>	<b>9</b>
--	----------

## Равновесие сил

Равновесие четырех сил для автомобиля и дороги, для самолёта и воздуха ...	10
--	----

Исследуем силы воздуха (часть 1) .....	12
--	----

Исследуем силы воздуха (часть 2) .....	14
--	----

Что такое сила, создаваемая крылом (подъёмная сила)? .....	16
--	----

Пробуем выразить подъёмную силу с помощью расчётной формулы .....	18
---	----

Динамическое давление, которое самолёт испытывает от воздуха .....	20
--	----

Как создаётся сила для движения вперёд .....	22
--	----

Фестиваль фейерверков .....	24
-----------------------------	----

<b>Глава 2. Как реактивный двигатель развивает большую силу? .....</b>	<b>25</b>
--	-----------

## Двигатель

Сила движущегося воздуха заставляет лететь воздушный шарик .....	26
--	----

Два способа увеличения тяги .....	28
-----------------------------------	----

Причина того, что турбовентиляторный двигатель стал основным .....	30
--	----

Если заглянуть в турбовентиляторный двигатель .....	32
---	----

Большая роль вентилятора .....	34
--------------------------------	----

От компрессора до выхлопа .....	36
---------------------------------	----

Подготовка к запуску двигателя .....	38
--------------------------------------	----

Запуск двигателя (часть 1) .....	40
----------------------------------	----

Запуск двигателя (часть 2) .....	42
----------------------------------	----

Четыре силы, создаваемые двигателем .....	44
---	----

Рычаг, управляющий тягой двигателя .....	46
--	----

Какие проблемы могут возникнуть в двигателе? .....	48
--	----

Блок управления подачей топлива и безопасная эксплуатация самолёта ...	50
--	----

Чему равна тяга двигателя на взлёте? .....	52
--	----

Рассчитываем взлётную тягу по формуле тяги .....	54
--	----

Где хранится такое большое количество топлива? .....	56
--	----

Прослеживаем путь топлива до двигателя .....	58
--	----

Северное сияние, наблюдаемое из стратосферы.

Магнитный север и истинный север .....	60
--	----

<b>Глава 3. Каким образом самолёты свободно летают в небе? ....</b>	<b>61</b>
---	-----------

## Об аэродинамических поверхностях

Разные аэродинамические поверхности для управления полётом .....	62
--	----

Зачем нужны закрылки .....	64
----------------------------	----

Самолёт не сможет лететь устойчиво только с помощью крыльев .....	66
---	----

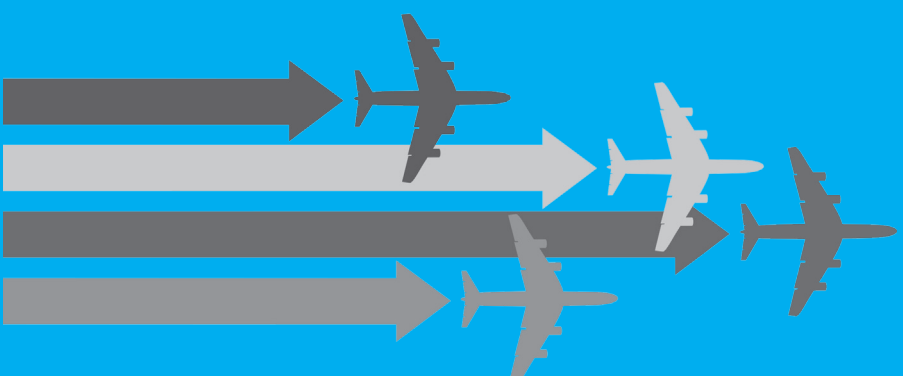
Три руля для управления полётом и три направления .....	68
---	----

Важная роль элеронов .....	70
Две важные роли руля направления .....	72
Равновесие сил при изменении направления полёта .....	74
Равновесие сил при наборе высоты .....	76
Равновесие сил при снижении .....	78
Какая сила двигает рули в полёте? .....	80
<b>Скорость</b>	
Что такое скорость, важная для пилота? .....	82
Различие между воздушной и путевой скоростями .....	84
Как скорость самолёта и скорость звука связаны между собой? .....	86
Удивительный мир Маха .....	88
Критическое число Маха и бафтинг .....	90
<b>Высота и местоположение</b>	
Устройство, с помощью которого можно определить высоту полёта .....	92
Барометрический высотомер надо корректировать .....	94
<b>Пространственная ориентация самолёта и направление полёта</b>	
Устройство определения пространственной ориентации самолёта .....	96
Свойство, полезное для определения пространственного положения самолёта .....	98
Как узнать направление? .....	100
Инерциальная аэронавигация, с помощью которой определяют положение самолёта и направление (часть 1) .....	102
Инерциальная аэронавигация, с помощью которой узнают высоту полёта и направление самолёта (часть 2) .....	104
Способ определения flight attitude .....	106
Что такое автопилот? .....	108
<b>Управление двигателем</b>	
Что такое система управления полётом (FMS)? .....	110
Зачем в двигателе нужны измерительные приборы? .....	112
Измерительные приборы двигателя позволяют определить даже величину тяги .....	114
Как подсчитать обороты двигателя? .....	116
Как измеряют температуру двигателя? .....	118
Зачем измерять расход топлива, используемого двигателями? .....	120
<b>От взлёта до посадки</b>	
Подготовка к полёту (часть 1) .....	122
Подготовка к полёту (часть 2) .....	124
Наконец-то запуск двигателя! .....	126
Наконец-то взлёт! .....	128
Как в действительности используются взлётные скорости? .....	130
Начало снижения и посадка .....	131



# ГЛАВА 1

**Почему  
самолёты  
умеют летать**





Воздух не станет поддерживать самолёт сам по себе

Автомобиль стоит неподвижно на дороге благодаря тому, что **вес автомобиля, с которым он давит на дорогу**, и сила противодействия от дороги, называемая **силой нормальной реакции**, уравновешивают друг друга.

В том случае, если автомобиль едет с постоянной скоростью, **сила, тянущая вперёд**, создаётся двигателем, и, кроме того, существует сила, направленная противоположно направлению движения, называемая **сопротивлением** и включающая силу трения колес об дорогу, сопротивление воздуха и др. Равнодействующая этих сил равна нулю, поскольку автомобиль не разгоняется и не тормозится; при этом говорят о том, что эти силы уравновешивают друг друга.

Итак, для движущегося автомобиля существует **равновесие четырёх сил**: силы тяжести, силы противодействия дороги, силы, тянущей его вперёд, и сопротивления.

И в случае самолёта совершенно аналогично автомобилю имеется равновесие четырёх сил, но воздух, в отличие от дороги, поддерживать самолёт не станет, если ничего не предпринимать. Для того чтобы уравновесить силу тяжести, необходимо опираться на воздух. Для этого нужны **крылья**.

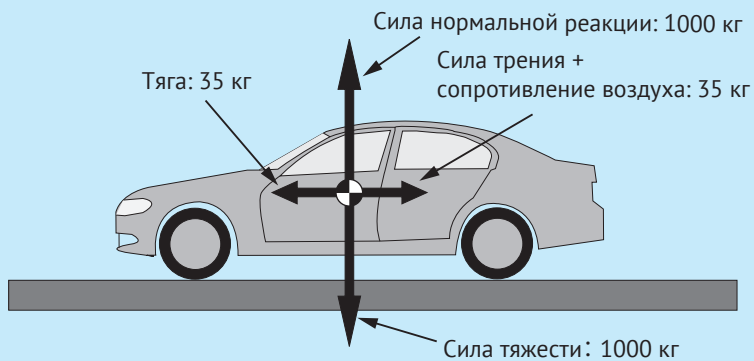
Силу, создаваемую крыльями, называют **подъёмной силой**, и для ее создания самолёт должен двигаться вперёд. Другими словами, он делает это не только с целью перемещения, то также и для создания подъёмной силы. Именно благодаря тому, что он двигается вперёд и крылья разрезают воздух, и возникает (в результате противодействия воздуха) подъёмная сила.

Для самолёта силу, толкающую вперёд и создаваемую двигателем, называют **тягой**, а силу сопротивления воздуха — **сопротивлением**, и совершенно аналогично автомобилю в случае полёта на постоянной высоте с постоянной скоростью сила тяжести и подъёмная сила равны между собой по величине; и то же самое можно сказать о тяге и сопротивлении воздуха.

Важной технической характеристикой самолёта является **аэродинамическое качество**. В случае если подъёмная сила равна 250 т, а сила сопротивления — 14 т, аэродинамическое качество, равняющееся отношению подъёмной силы к тяге, составит 18. Это означает, что для полёта этому самолёту достаточно тяги, равной одной восемнадцатой его веса.



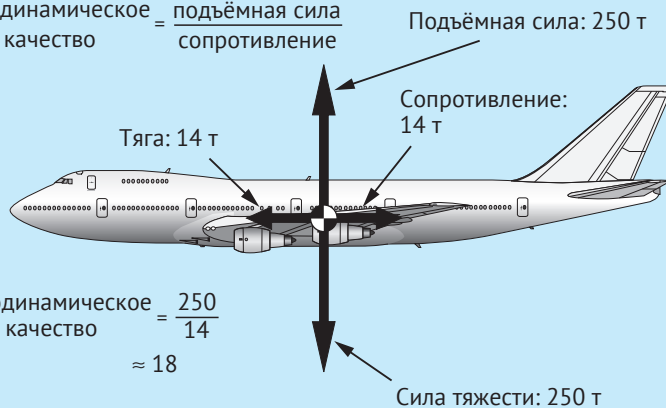
### Равновесие четырёх сил при движении автомобиля с постоянной скоростью



Сила,двигающая автомобиль с постоянной скоростью, составляет примерно 1/30 его веса

### Равновесие четырёх сил при полёте самолёта с постоянной скоростью

Аэродинамическое качество =  $\frac{\text{подъёмная сила}}{\text{сопротивление}}$



Аэродинамическое качество =  $\frac{250}{14}$   
 $\approx 18$

Отсюда видно, что сила, заставляющая самолёт лететь с постоянной скоростью, составляет примерно 1/18 от его веса





Чтобы определить подъёмную силу, поддерживающую самолёт, мы сначала попробуем выяснить, какое примерно давление создаёт воздух.

Если погрузить руку в воду, то в ней возникнет ощущение сдавливания. Эта сила называется **статическим давлением**. Если вы опустите руку в проточную воду, то почувствуете, как сила течения воздействует на руку, сдвигая ее с места. Эту силу называют **динамическим давлением**, и, если говорить сложным языком, динамическое давление имеет касательную (тангенциальную) составляющую, величина которой зависит также от ориентации ладони и от ее формы в направлении потока воды. В этом можно несложно убедиться, взглянув на карпа, который спокойно остаётся на одном и том же месте в реке, легонько отклоняя поток воды хвостом.

Воздух, как и вода, относится к так называемым **текучим средам**, поэтому определения и статического, и динамического давлений здесь будут такими же. В некоторых случаях можно ощущать динамическое давление, например при ветре, но статическое давление воздуха мы почувствовать не можем. Это происходит, потому что давление внутри нашего тела также равно 1 атмосфере.

1 атмосфера — это давление атмосферы на уровне поверхности земли, и её величина равна отношению веса водяного столба высотой 10 м к площади основания, равной  $1 \text{ м}^2$ , т. е. на  $1 \text{ м}^2$  площади приходится вес примерно 10 т.

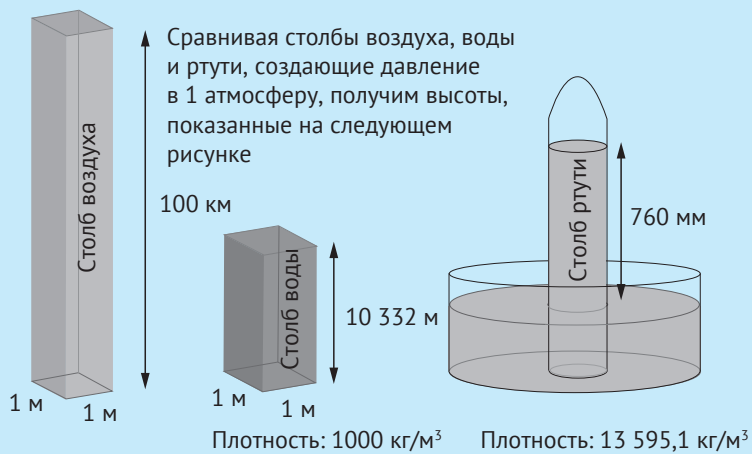
В качестве примера, позволяющего реально ощутить величину этой силы, можно привести присоску, которая используется, например, для крепления крючков к плитке в ванной комнате, куда нельзя вбивать гвозди.

Как показано на рисунке, давление воздуха на стороне плитки, к которой прилипла присоска, можно считать близким к нулю. Напротив, на внешней стороне будет действовать сила, равная примерно 20 кг.

Эту присоску отлепить нелегко, так как требуется сила, поднимающая 4 пластиковые бутылки объёмом по 5 л каждая. Однако если запустить на внутреннюю сторону плитки воздух, то присоска легко снимется, так как давление воздуха по обе стороны станет равным 1 атмосфере.



### Величина давления, равная 1 атмосфере

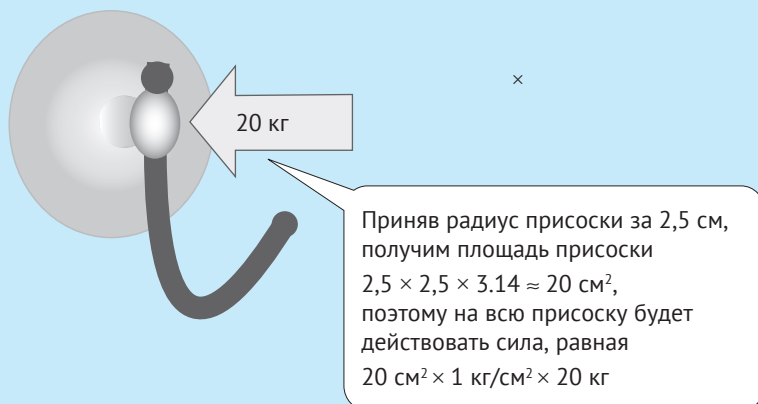


Давление столба ртути:  $13\,595,1 \times 0,76 = 10\,332 \text{ кг/м}^2$

Давление столба воды:  $10\,332 \times 1000 = 10\,332 \text{ кг/м}^2$

Давление столба воздуха:  $10\,332 \text{ кг/м}^2$

### Присоска и давление воздуха





Когда мы моем машину, то при зажимании конца шланга струя воды становится сильнее, что очень удобно для удаления грязи с автомобильных шин. Как вы думаете, почему сила струи, т. е. скорость воды, увеличивается, несмотря на то что количество воды, выходящее из крана, не изменяется?

То, что при зажимании кончика шланга усиливается струя или, другими словами, увеличивается скорость течения воды, означает, что **возрастает динамическое давление**.

Заметим, что если давление воды в окрестностях зажато конца шланга стало бы больше, чем исходное, то вода перестала бы течь. Однако в действительности вода из зажато шланга льётся с большей скоростью, что позволяет лучше смывать грязь.

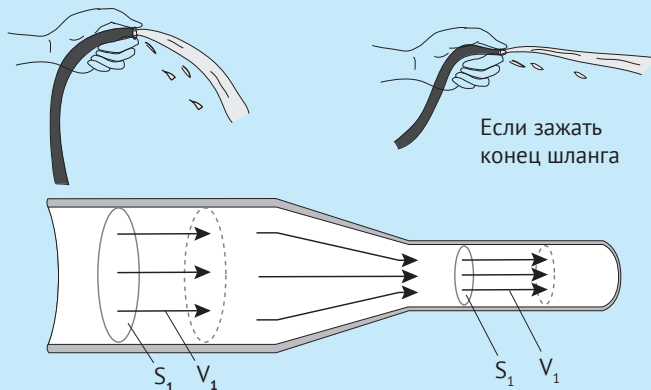
Причина этого заключается в том, что если увеличивается скорость течения (иными словами, возрастает динамическое давление), то уменьшается статическое давление, благодаря чему полное давление остаётся постоянным, поэтому течение будет неразрывным.

Давайте обдумаем тот факт, что при росте динамического понижается статическое давление с точки зрения закона сохранения энергии. **Энергия давления (статическое давление)** в узком канале превращается в **кинетическую энергию (динамическое давление)**, но **полная энергия (полное давление)**, в соответствии с законом сохранения энергии, не изменяется. Это называется законом Бернулли и выражается формулой, приведённой на рисунке.

Всё вышеизложенное равно применимо и для случая, если заменить воду на воздух. Например, почему если мы как следует подставимся ветру, то почувствуем силу, стремящуюся опрокинуть нас назад?

Ветер останавливается телом, и его скорость становится равной нулю, поэтому кинетическая энергия ветра превращается в энергию давления, с обращенной к ветру стороны повышается статическое давление, и мы чувствуем силу, стремящуюся опрокинуть нас назад. Таким образом, **динамическое давление проявляет свою силу в качестве статического давления только после того, как течение будет остановлено**.

## Связь между статическим и динамическим давлениями



Закон Бернулли  $\rho + \frac{1}{2} \rho V^2 = \text{const}$  (статическое давление) + (динамическое давление) = const

Если обозначить  $S_1$  площадь поперечного сечения шланга,  $V_1$  – скорость течения в нём, а  $S_2$  – площадь поперечного сечения трубы, зажатой пальцами,  $V_2$  – скорость течения в ней, то количество воды  $W$ , протекающее за время  $t$ , так как оно одинаково и в широком месте, и на конце трубы, может быть выражено как:

$$W = \rho \times S_1 \times V_1 \times t = \rho \times S_2 \times V_2 \times t.$$

Следовательно,

$$S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2 \text{ (уравнение неразрывности потока).}$$

Если обозначить  $P$  статическое давление, то в широком месте шланга потенциальная энергия = (давление)  $\times$  (объём)  
=  $P \times S \times V \times t$ .

Кинетическая энергия =  $1/2 \times$  (масса)  $\times$  (скорость)<sup>2</sup>  
=  $1/2 \times (\rho \times S \times V \times t) \times V^2$ .

Для конца трубы всё будет аналогично.

Далее из равенства полных энергий в широком месте шланга и в месте сужения следует, что:

$$\begin{aligned} P \times S_1 \times V_1 \times t + 1/2 \times (\rho \times S_1 \times V_1 \times t) \times V_1^2 \\ = P \times S_2 \times V_2 \times t + 1/2 \times (\rho \times S_2 \times V_2 \times t) \times V_2^2. \end{aligned}$$

Так как, согласно уравнению неразрывности потока

$$S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2,$$

в левой и правой частях исчезает это произведение и  $t$ , получим:

$$P + 1/2 \times \rho \times V_1^2 = P + 1/2 \times \rho \times V_2^2.$$



## ЧТО ТАКОЕ СИЛА, СОЗДАВАЕМАЯ КРЫЛОМ (ПОДЪЁМНАЯ СИЛА)?

Подъёмная сила пропорциональна динамическому давлению и площади крыла



Карп в реке может спокойно оставаться на одном месте, легонько отклоняя течение движениями хвоста<sup>1</sup>.

Причина этого заключается в форме его тела, которая носит название «обтекаемой». Если посмотреть на картину течения вокруг карпа сверху, можно увидеть, что линии (так называемые линии тока жидкости) зеркально симметричны относительно продольной оси рыбы. Даже если течение повернет, или, другими словами, динамическое давление изменится, величины давлений с обеих сторон карпа останутся одинаковыми, поэтому связанные с ними силы уравновешивают друг друга.

Это означает, что **если нарушить равновесие динамического давления, то противодействие будет порождать силу, и чем больше будет избыточное динамическое давление, тем больше будет эта сила.**

Эту силу можно испытать на себе и имея дело с совершенно привычными вещами. Например, если постепенно приближать выпуклую сторону ложки к струе воды, выходящей из крана, то, начиная с определённого расстояния, неожиданно начнёт действовать сила, которая будет затягивать ложку в струю воды. Это произойдёт, потому что воздух, находящийся с изогнутой стороны, начнёт ускоряться водой, в результате чего увеличится динамическое и уменьшится статическое давление.

Как известно, если подуть сверху на листок бумаги, то он поднимется, и это тоже происходит по вышеописанной причине. Далее, как показано рисунке, если провести эксперименты при сильном ветре с дощечками разнообразной формы под различными углами, то станет ясно, что существует форма доски и угол к направлению ветра (угол атаки), при которых сила создаётся наиболее эффективно.

Силу, которую таким образом создаёт крыло, используя силу, вызываемую разницей динамического давления, называют **подъёмной силой**. Отклоняясь от основной темы, скажем, что, наверное, «подъём карпов по водопаду» будет возможен, если использовать динамическое давление водопада, которое ещё больше, чем динамическое давление реки.

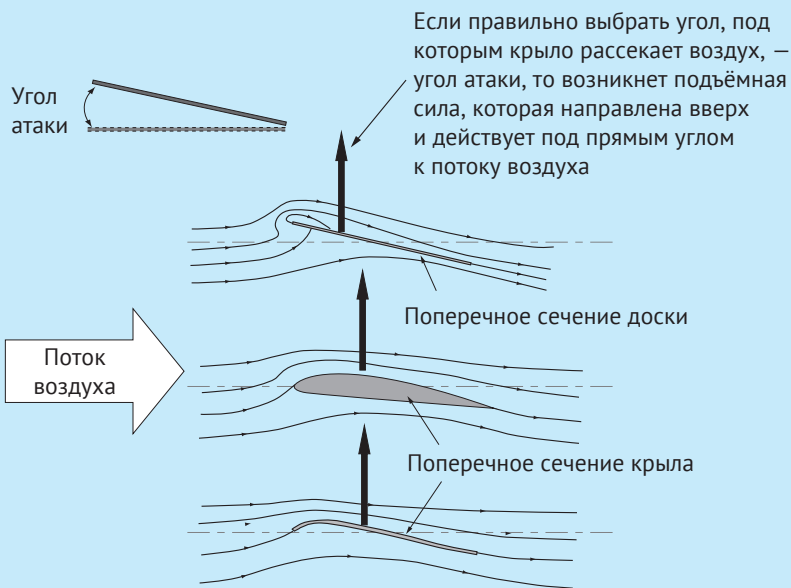
Таким образом, при отклонении воздуха крылом возникает подъёмная сила, а динамическое давление имеет касательную (тангенциальную) составляющую, величина которой зависит от формы, обращенной к потоку (другими словами, от площади), поэтому ясно, что если площадь крыла будет большой, то подъёмная сила тоже будет значительной.

Из вышеизложенного понятно, что **подъёмная сила пропорциональна динамическому давлению и площади крыла.**

<sup>1</sup> В Японии 5 мая отмечается Праздник мальчиков; у японцев в этот день есть прекрасная традиция – вывешивать развевающиеся на ветру изображения карпов, которые называются кои-нобори. Обычай красивый, о нем довольно много написано в интернете.

Хокуютоки – это часть пути карпа, плывущего вверх по водопаду. Японский карп – упрямая рыба, преодолевающая бурное течение водопада, – символизирует духовную победу над собой и физическую победу над встречающимися преградами. Япония – это не только дзэн и мудрое спокойствие, достигать нирваны можно и активно – в бою без правил и оружия. – *Прим. ред.*

### Течение воздуха, которое создаёт подъёмную силу



### Условия, при которых не возникает подъёмная сила

Если угол, под которым крыло встречает воздух (угол атаки), слишком большой, то течение воздуха срывается с поверхности и подъёмная сила не возникает





Далее мы рассмотрим это с другой точки зрения: попробуем определить подъёмную силу, считая, что крыло отклоняет течение воздуха назад и вниз от себя, а подъёмная сила является силой этого противодействия. Величина противодействия, согласно второму закону Ньютона

$$\text{сила} = \text{масса} \times \text{ускорение},$$

будет следующей:

$$\text{подъёмная сила} = \text{масса воздуха} \times \text{отклоняющее ускорение}.$$

И так как

$$\text{ускорение} = \text{скорость} / \text{время},$$

получится, что

$$\text{подъёмная сила} = \text{масса воздуха} \times \text{скорость} / \text{время}.$$

Время в этой формуле — это то время, за которое воздух проходит длину крыла в направлении потока, и поэтому можно записать, что

$$\text{время} = \text{длина крыла} / \text{скорость}.$$

Далее:

$$\text{масса воздуха} = \text{плотность воздуха} \times \text{объём крыла},$$

и при этом также:

$$\text{объём крыла} = \text{длина крыла} \times \text{площадь сечения крыла}.$$

Другими словами, становится ясно, что подъёмная сила пропорциональна

$$\text{плотность воздуха} \times (\text{скорость})^2 \times \text{площадь крыла}.$$

Вводя так называемый коэффициент подъёмной силы, получим, что

$$\text{подъёмная сила} = \text{коэффициент подъёмной силы} \times \text{плотность воздуха} \times (\text{скорость})^2 \times \text{площадь крыла}.$$

Если более просто считать, что подъёмная сила — это противодействие воздуха, возникающее благодаря тому, что крыло перераспределило динамическое давление, действующее на верхнюю и нижнюю поверхности крыла, то, так как сила, действующая на всё крыло, равна

$$\text{динамическое давление} \times \text{площадь крыла},$$

можно будет записать, что

$$\text{подъёмная сила} = \text{коэффициент подъёмной силы} \times \text{динамическое давление} \times \text{площадь крыла}.$$

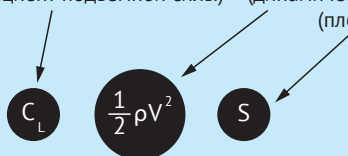
Подытоживая вышесказанное, получим формулу, показанную на рисунке далее.

### Формула расчёта подъёмной силы

Так как подъёмная сила возникает в результате изменения динамического давления, действующего на всю площадь крыла, подъёмная сила будет пропорциональна (динамическое давление) × (площадь крыла).

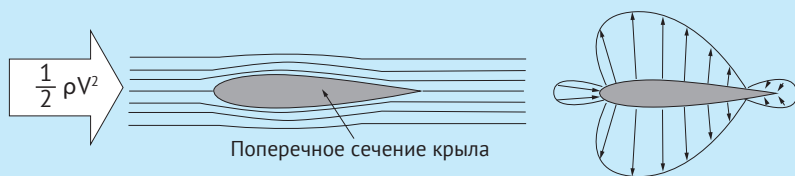
Если ввести коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом подъёмной силы, то получится следующая формула:

$$(\text{подъёмная сила}) = (\text{коэффициент подъёмной силы}) \times (\text{динамическое давление}) \times (\text{площадь крыла})$$

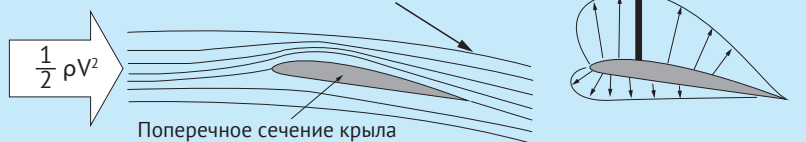


### Воздух, текущий вдоль поперечного сечения крыла, и величина подъёмной силы

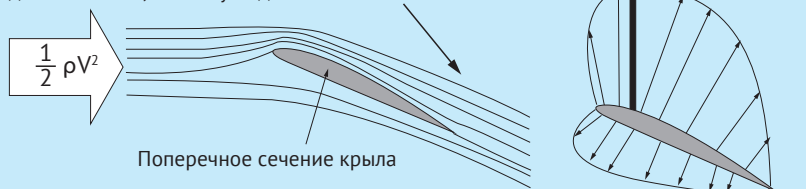
Для крыла, симметричного относительно срединной плоскости, при угле атаки, равном нулю, подъёмная сила не возникает, так как изменения динамического давления сверху и снизу равны друг другу (пример: для вертикального оперения лучше, чтобы угол атаки был равен нулю и подъёмная сила не возникала)



Если уменьшить угол атаки, то степень отклонения назад понизится, что в формуле приведёт к уменьшению коэффициента подъёмной силы, поэтому подъёмная сила станет меньше



Если увеличить угол атаки, то степень отклонения назад возрастёт, в формуле это приведёт к увеличению коэффициента подъёмной силы, поэтому подъёмная сила станет больше





## ДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, КОТОРОЕ САМОЛЁТ ИСПЫТЫВАЕТ ОТ ВОЗДУХА

Сила воздуха, действующая перпендикулярно направлению движения, — это подъёмная сила, а против направления движения — сила сопротивления



Сила воздуха, действующая перпендикулярно направлению движения, — это подъёмная сила, а против направления движения — сила сопротивления.

Как вы знаете, ещё Галилеем было установлено, что если уронить предмет с определённой высоты, то в случае отсутствия сопротивления воздуха **скорость падения будет одинаковой вне зависимости от веса.**

Эта скорость падения каждую секунду увеличивается на 9,8 м/с. Это — ускорение, возникающее под действием силы тяжести. В случае отсутствия сопротивления воздуха падение будет происходить с постоянным ускорением (свободное падение).

Например, в скайдайвинге первые несколько секунд после прыжка происходит ускорение под действием силы тяжести. Однако уже через несколько секунд скорость полёта становится постоянной (в положении тела лицом вниз — около 200 км/ч!). Это происходит, **потому что сопротивление воздуха и сила тяжести уравнивают одна другую.**

Когда раскрывается парашют, происходит замедление до такой скорости, при которой нет опасности сломать ногу, и скайдайвер, контролируя величину сопротивления воздуха, неторопливо снижается и приземляется.

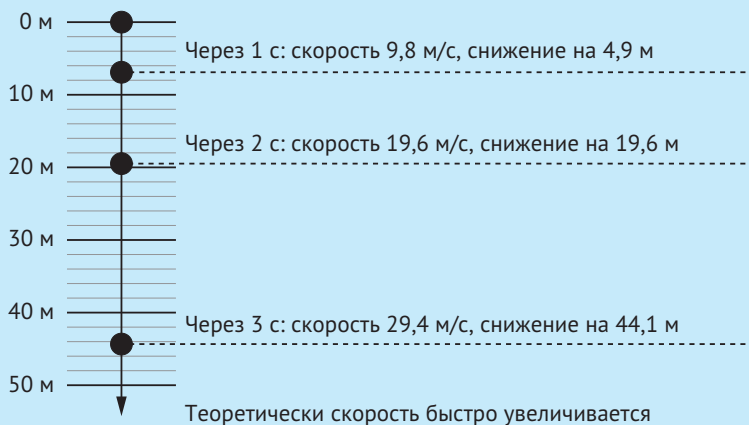
Итак, мы установили, что при перемещении в воздухе с большой скоростью воздух действует на движущиеся в нём предметы, а в случае с полётом самолёта силу действия воздуха разделяют на:

- **подъёмную силу — силу воздуха, действующую перпендикулярно направлению движения;**
- **сопротивление — силу воздуха, действующую в направлении, противоположном направлению движения.**

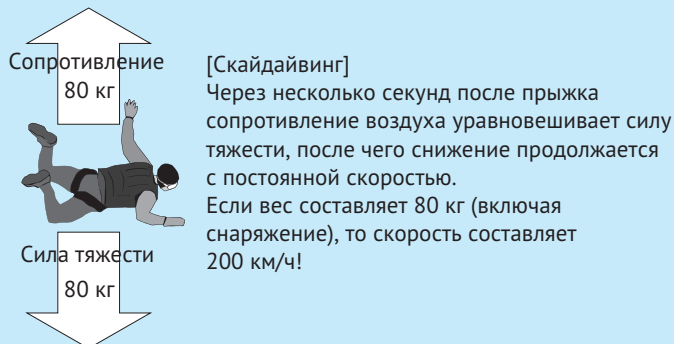
Другими словами, и подъёмная сила, и сопротивление являются силами, создаваемыми воздухом и действующими на самолёт, которые просто называются по разному в зависимости от направления своего действия.

Сила, воспринимаемая от воздуха, — это, как было объяснено ранее, **динамическое давление.** Так как и сопротивление, и подъёмная сила пропорциональны динамическому давлению аналогичным образом, формулы для их расчёта получаются почти одинаковыми. Отличие заключается лишь в том, что вместо коэффициента подъёмной силы туда входит коэффициент сопротивления.

### Свободное падение при отсутствии сопротивления воздуха



### Свободное падение при наличии сопротивления воздуха



### Формула сопротивления

$$(\text{сопротивление}) = (\text{коэффициент сопротивления}) \times (\text{динамическое давление}) \times (\text{площадь крыла})$$

$C_D$

$\frac{1}{2} \rho V^2$

$S$

#### Подъёмная сила:

Одна из сил воздуха, действующих на самолёт, которая действует перпендикулярно направлению движения.

#### Сопротивление:

Одна из сил воздуха, действующих на самолёт, которая действует в направлении, противоположном направлению движения.



## КАК СОЗДАЁТСЯ СИЛА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ВПЕРЁД

В чём различие между самолётом, вертолётom и птицей?



Птица, умело махая крыльями, разрезает ими воздух, создавая подъёмную силу той их частью, которая начинается от основания (места крепления) крыла и доходит примерно до его середины, и образуя тягу кончиками крыльев.

Птица одними только крыльями создаёт и подъёмную силу, и тягу, свободно летая в небе.

Аналогично этому вертолёт тоже создаёт и подъёмную силу, и тягу одними только лопастями винта. Этот принцип схож с используемым в японской игрушке такэтомбо (бамбуковая стрекоза) – вместо того чтобы махать крыльями, она их вращает, создавая подъёмную силу и силу тяги. Так как вертолёт летает в небе, вращая лопастями винта, его также называют **винтокрылым летательным аппаратом**.

Самолёт, который называют **летательным аппаратом с неподвижным крылом**, не может махать крыльями, так как в полном соответствии с этим названием его крылья неподвижно закреплены. Для того чтобы разрезать крыльями воздух, приходится двигаться вперёд, вместо того чтобы махать крыльями. Самый простой способ двигаться вперёд – прыгнуть вниз с высокого места. Если до достижения земли удастся получить достаточную подъёмную силу, то это успех.

Первым полётом, который удалось совершить, взлетев с земли, был полёт, осуществлённый братьями Райт с помощью автомобильного мотора, который вращал пропеллер (1903 г.). Через 30 лет после этого началась история реактивных двигателей (*jet engine*), которые сейчас являются основными двигателями для пассажирских самолётов.

Принцип работы реактивного двигателя, просто говоря, аналогичен принципу полёта надутого воздушного шарика (см. стр. 27), только шарик не может лететь, после того как израсходует воздух, а реактивный двигатель, всасывая большое количество воздуха и выбрасывая этот воздух позади себя, придавая ему ускорение, может лететь до тех пор, пока вокруг него имеется воздух. Такой двигатель называется *реактивным*, так как создаваемая им сила тяги является силой реакции или силой противодействия со стороны отбрасываемого воздуха (по-английски это *jet*)<sup>1</sup>.

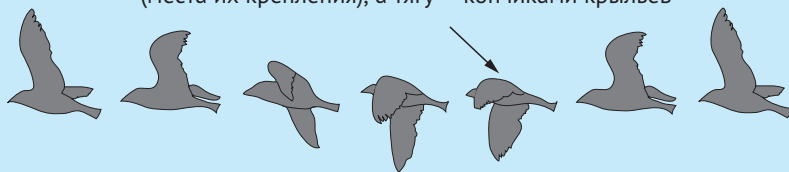
<sup>1</sup> Подробно про реактивный двигатель будет рассказано в следующей главе.



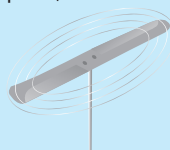
## Сила, толкающая вперёд

Птица

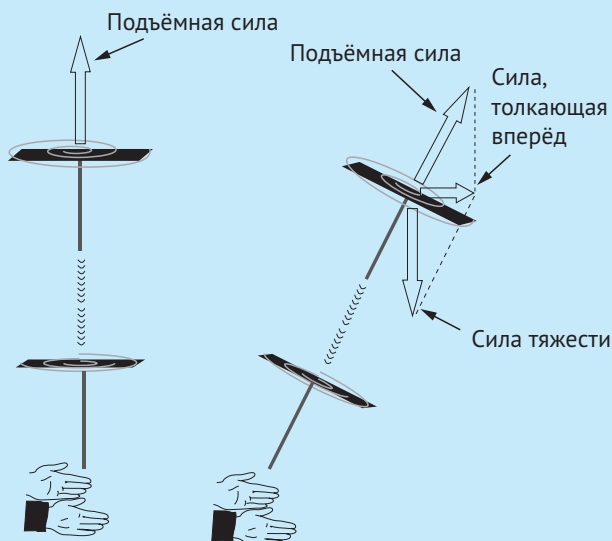
Птица, взмахивая крыльями, создаёт подъёмную силу с помощью части поверхности крыльев у их основания (места их крепления), а тягу – кончиками крыльев



Такэтомбо (игрушка «бамбуковая стрекоза»). В вертолёте используется тот же самый принцип

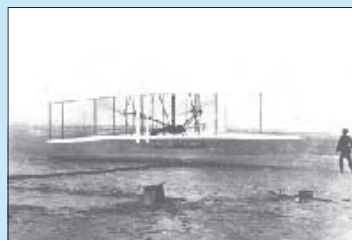


Такэтомбо



Самолёт, на котором братья Райт в 1903 году совершили первый в мире полёт с использованием мотора

Братья Райт перед первым моторным полётом выполнили несколько планирующих полётов



# Фестиваль фейерверков

## КОТ И ТРЯСКА САМОЛЁТА

Самые страшные вещи в мире в порядке убывания перечислены пословицей «землетрясение, гроза, пожар, отец» (японская поговорка), однако землетрясение не имеет отношения к самолёту, летящему в небе. Самым страшным для самолёта в небе считается пожар с салоне, а второе по опасности явление – гроза. Если речь заходит о Сb (cumulonimbus cloud), что означает «кучевые облака», которые обычные люди называют грозовыми, то всякий, связанный с авиацией, сразу останавливается и опасливо настораживается. Особенно когда говорят про вечерний «фестиваль фейерверков» в конце сезона дождей или ранним летом, то имеют в виду эти грозы. Тучи, сверкающие молниями, выглядят как на картине, нарисованной природой, но только если смотреть на них издалека. Раз уж разговор зашёл о фейерверках, настоящие фейерверки при взгляде на них с небес похожи на маленькие шарики, сверкающие разными цветами, и в период летнего праздника Обон (японский праздник поминовения усопших) тут и там можно видеть настоящие фестивали фейерверков.

Тряску самолёта при ясном небе, на котором нет, например, грозовых облаков, называют САТ (clear air turbulence: турбулентность ясного неба). Это очень подходящее название, так как такая тряска начинается неожиданно, подобно неуправляемому коту (от *cat* – кот). Похоже, что турбулентность ясного неба особенно часто встречается на таких направлениях перелёта из Японии, как Гонолулу или Западное побережье США, где при выборе маршрутов полёта стремятся использовать попутные ветры, основанные на струйных течениях (jet stream). В связи с этим на данных линиях кроме доклада о местоположении (position report) (доклад в диспетчерский центр о точке маршрута) включается также информация о турбулентности, так чтобы она могла дойти и до других самолётов.

