

ОТТО ЛИЛИЕНТАЛЬ

# ПОЛЕТ ПТИЦ КАК ОСНОВА ИСКУССТВА ЛЕТАТЬ

Материалы для систематики  
техники полета

Перевод с немецкого  
Е. С. ФЕДОРОВА



Москва ♦ Ижевск

2002

УДК 629.131  
Л 57

### **Лилиенталь О.**

Полет птиц как основа искусства летать. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, 232 стр.

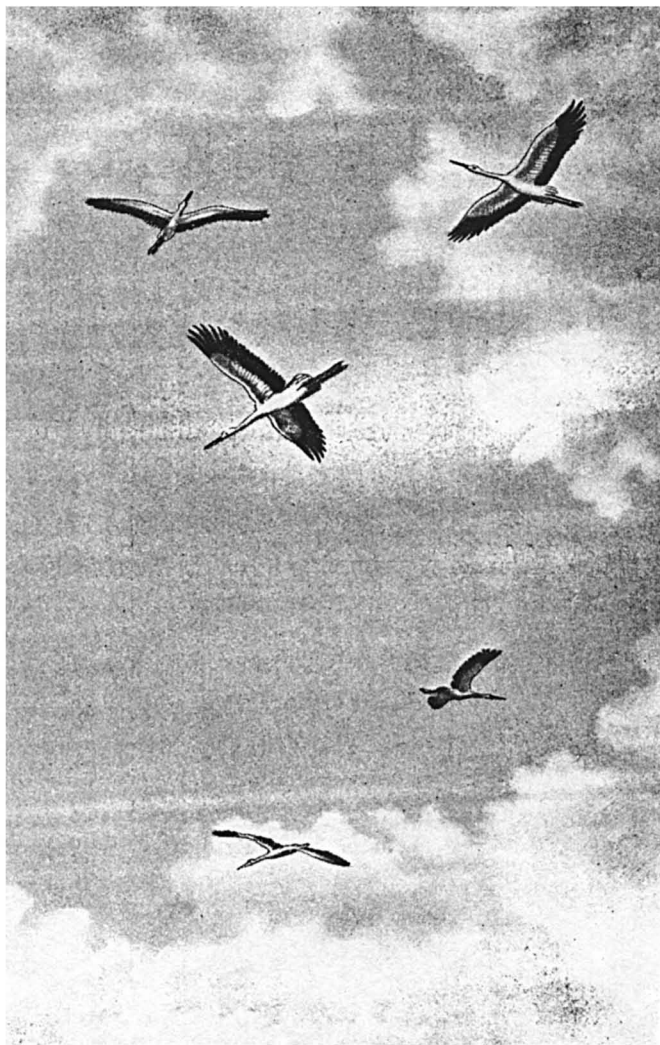
Сочинение О. Лилиенталья вышло в свет в 1889 году и тогда же обратило на себя внимание всех образованных людей, интересующихся вопросом воздухоплавания. Заслуги О. Лилиенталья в деле воздухоплавания весьма велики: он начал свои первые исследования в то время, когда самые выдающиеся авторитеты утверждали, что решение задачи невозможно; это нисколько не остановило его; он продолжал с упорством работать по излюбленному им вопросу вплоть до своей трагической гибели.

Книга предназначена для широкого круга читателей.

**ISBN 5-93972-183-4**

© Институт компьютерных исследований, 2002

**<http://rcd.ru>**



Кружащееся семейство аистов

# Оглавление

<b>Отто Лилиенталь и его книга о полете птиц . . . .</b>	<b>5</b>
<b>Предисловие переводчика . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>Предисловие автора . . . . .</b>	<b>12</b>
§ 1. Введение . . . . .	14
§ 2. Основной принцип свободного полета . . . .	15
§ 3. Искусство летать и механика . . . . .	19
§ 4. Сила, поднимающая летящую птицу . . . .	26
§ 5. Общие понятия о сопротивлении воздуха . .	27
§ 6. Крыло как рычаг . . . . .	29
§ 7. Работа, развиваемая при движении крыльев	30
§ 8. Действительная траектория крыла и ощуща- емая птицей скорость его . . . . .	31
§ 9. Видимая работа птиц . . . . .	32
§ 10. Преувеличение работы, развиваемой при по- лете . . . . .	34
§ 11. Работа птиц при различных видах полета . .	35
§ 12. Основы техники полета . . . . .	41
§ 13. Сопротивление воздуха при равномерном движении плоских поверхностей по нор- мальному направлению . . . . .	42
§ 14. Сопротивление воздуха вращающейся плос- кой поверхности . . . . .	43
§ 15. Точка приложения силы сопротивления воз- духа при прямом ударе крыла . . . . .	46
§ 16. Увеличение сопротивления воздуха при ме- ханических ударах . . . . .	48
§ 17. Сбережение работы при увеличении скоро- сти поднятия крыльев . . . . .	60
§ 18. Работа при полете на месте . . . . .	63
§ 19. Сопротивление воздуха при облическом дви- жении плоских поверхностей . . . . .	66



§ 20. Работа при поступательном полете с плоскими крыльями . . . . .	73
§ 21. Превосходство птичьих крыльев над плоскими . . . . .	77
§ 22. Оценка значения форм крыльев . . . . .	81
§ 23. Наивыгоднейший поперечный разрез крыла . . . . .	83
§ 24. Преимущество вогнутых крыльев перед плоскими . . . . .	84
§ 25. Разница между явлениями сопротивления воздуха при плоских и вогнутых поверхностях . . . . .	86
§ 26. Влияние очертания крыльев . . . . .	92
§ 27. Об измерении сопротивления воздуха поверхностям, подобным птичьему крылу . . . . .	94
§ 28. Сопротивление воздуха птичьему крылу, из определений при помощи вращения поверхностей . . . . .	98
§ 29. Сравнение направлений сопротивления воздуха . . . . .	104
§ 30. О работе при поступательном полете с вогнутыми крыльями . . . . .	105
§ 31. Птицы и ветер . . . . .	107
§ 32. Сопротивление птичьего крыла, измеренное на ветре . . . . .	111
§ 33. Увеличение подъемной силы благодаря ветру . . . . .	115
§ 34. Сопротивление птичьего крыла в спокойном воздухе, определенное на основании измерений на ветре . . . . .	121
§ 35. Работа при полете в спокойном воздухе, определенная на основании измерений на ветре . . . . .	122
§ 36. Изумительные явления, происходящие при опытах с вогнутыми летательными поверхностями на ветре . . . . .	123
§ 37. О возможности парения . . . . .	131
§ 38. Птица как образец . . . . .	137
§ 39. Аэростат как помеха . . . . .	154
§ 40. Расчет работы при полете . . . . .	158
§ 41. Конструкция приборов для полета . . . . .	175
§ 42. Заключение . . . . .	180
<b>Приложение. Чертежи . . . . .</b>	<b>185</b>

<i>Н. Б. Делоне. Устройство дешевого и легкого планера и способы летания на нем . . . . .</i>	193
<i>Н. Е. Жуковский. Летательный аппарат Отто Лилиен- таля . . . . .</i>	209
<i>Н. Е. Жуковский. О гибели воздухоплавателя Отто Лилиенталя . . . . .</i>	217

# Отто Лилиенталь и его книга о полете птиц

Немецкий инженер Отто Лилиенталь — пионер воздухоплавания и авиации, завоеватель воздушного океана — родился 23 мая 1848 г. в городке Анклам в Померании и в 1856–64 гг. обучался в местной гимназии. Здесь, в возрасте 13 лет, он вместе с братом Густавом предпринял первые попытки полета на примитивных крыльях. В 1867–68 гг. он учился в Берлинской промышленной академии. Работая в 1871–72 гг. инженером-конструктором машиностроительного завода в Хоппе в Берлине, он одновременно занялся изучением полета птиц. В 1873 г. О. Лилиенталь делает свой первый доклад по теории полета птиц в Потсдамском ремесленном объединении, а в 1886 г. он становится членом Немецкого объединения по исследованию воздухоплавания.

С 1881 г. Лилиенталь начинает летать на планерах собственной конструкции. И хотя до него были проведены отдельные робкие попытки полетов на планерах, именно он проторил дорогу человечеству к полетам на первых летательных аппаратах. По нашим сегодняшним понятиям, в своей могучей личности он объединил исследователя, конструктора и летчика-испытателя. На разработанных им экспериментальных установках Лилиенталь провел исследования аэродинамических характеристик крыльев балансирных планеров; разработал различные конструкции планеров с крылом, напоминающим крыло летучей мыши; провел более 2000 испытательных полетов и в 1889 году издал книгу «Полет птиц как основа искусства летать».

Сегодня человечество отдает дань этому замечательному борцу за технический прогресс и совершенство летательной техники.

В настоящее время на родине Отто Лилиенталя открыт музей его имени. Здесь демонстрируются построенные в натуральную величину 9 типов его планеров монопланной и бипланной схемы. К сожалению, все они являются лишь современными копиями. Но один из подлинных планеров О. Лилиенталя экспонируется в Научно-мемориальном музее проф. Н. Е. Жуковского в Москве. Планер был приобретен Н.Е. Жуковским, когда в 1895 г. он приезжал в Германию и лично наблюдал полеты Отто Лилиенталя. Это был один из 18 «стандартных планеров», в котором было найдено удачное соотношение между размерами и его управляемостью. Их О. Лилиенталь построил специально для продажи. По возвращении в Москву Николай Егорович сделал доклад, а затем опубликовал статью «Летательный аппарат Отто Лилиенталя».

В своем классическом труде «О парении птиц» (1891) Н. Е. Жуковский ввел новый раздел в механике — динамику полета. Рассматривая полет парящей птицы в различных условиях, он получил решения, описывающие траектории полета в виде разнообразных кривых, в частности, замкнутой петли, что позже назвали «мертвой петлей». 22 года спустя замечательный русский летчик П.Н. Нестеров впервые выполнил «мертвую петлю» на самолете. А в 1930 году в Крыму эта рисура высшего пилотажа была выполнена известным планеристом и летчиком-испытателем В.А. Степанчиком на планере конструкции С.П. Королева СК-3 «Красная звезда».

В России первым исследователем планерного полета был симферопольский врач Николай Андреевич Арендт (1833–1893 гг.). В статье «К вопросу о воздухоплавании», опубликованной в 1874 г. в журнале «Знание», Н.А. Арендт указывал: «Если человек не мог до сих пор летать по воздуху при помощи крыльев за неимением достаточной силы, то почему же ему не подражать орлу, умеющему летать без затраты собственной силы?» (т. е. в парящем полете).

Н. А. Арендт проводил свои опыты с замороженными препарированными птицами с распростертыми крыльями, которых он запускал в полет с помощью самострела или воздушного змея. Результаты своих опытов Н.А. Арендт изложил в книге «О воздухоплавании, основанном на прин-

ципах парения птиц», изданной в 1889 г. — в один и тот же год с книгой О. Лилиенталя. Н. А. Арендт так описывал планер, который назвал «летательным снарядом»: «Крылья и корпус снаряда должны составлять одно целое. Крылья должны быть неподвижными в том смысле, как неподвижны они у парящих птиц. Крылья должны быть сделаны сводом, поверхность — совершенно гладкая».

Мы видим, что понятие о «летательном снаряде» Н. А. Арендта совпадает с мнением О. Лилиенталя о летательном аппарате. Николай Егорович Жуковский дал высокую оценку О. Лилиенталю, назвав его «летающим человеком», а графическую зависимость между коэффициентами подъемной силы и лобового сопротивления, характеризующую любой летательный аппарат, — *полярой* Лилиенталя.

Продолжая свои летные испытания, Отто Лилиенталь встретился с неизбежным концом: полет 9 августа 1896 года оказался роковым. После снижения аппарат резко взмыл вверх и, зависнув на высоте 30 метров, рухнул на землю. Пилот получил тяжелые ранения, от которых через сутки скончался в берлинской клинике в возрасте 48 лет.

Незадолго до этого О. Лилиенталь приступил к конструированию небольшого двигателя мощностью 2,5 л.с., собираясь превратить свой аппарат в мотопланер — разновидность легкого самолета. И если бы не преждевременная гибель конструктора, полет на самолете мог бы появиться ранее декабря 1903 г.

Николай Егорович Жуковский писал в 1898 году: «Я думаю, что путь исследования задачи воздухоплавания с помощью скользящей летательной машины является одним из самых надежных. Проще прибавить двигатель к хорошо изученной скользящей летательной машине, нежели сесть в машину, которая никогда не летала с человеком». По этому пути шел О. Лилиенталь. По этому пути пошли американцы — братья Орвилл и Вильбур Райт, самолет которых «Флайер» впервые выполнил управляемый полет 17 декабря 1903 года.

В 1896 году в статье «О гибели воздухоплавателя Отто Лилиенталя» Н. Е. Жуковский писал: «Не подлежит сомнению, что Лилиенталем сделаны крупные приобретения для решения задачи о полете тел более тяжелых, чем воздух.

Его имя занесется на страницы истории воздухоплавания рядом с именами других мучеников науки, пожертвовавших своей жизнью для разрешения великой воздухоплавательной задачи, и я убежден, что о Лилиентале вспомнят как об ученом, изведавшем этой дорогой ценой важные тайны, ревниво охраняемые безбрежным воздушным океаном».

*Директор Научно-мемориального музея проф. Н. Е. Жуковского,  
доктор технических наук, профессор,  
мастер самолетного спорта А. П. Красильщиков*

## Предисловие переводчика

... Сочинение О. Лилиенталя, появляющееся ныне в русском переводе, вышло в свет в 1889 году и тогда же обратило на себя внимание всех образованных людей, интересующихся вопросом воздухоплавания. Перевод, хотя является и сильно запоздавшим, тем не менее, будет, по всей вероятности, с удовольствием встречен русской публикой, потому что все мысли, излагаемые О. Лилиенталем, нисколько не потеряли ни своей свежести, ни своего значения для дела воздухоплавания.

Заслуги О. Лилиенталя в деле воздухоплавания весьма велики: он начал свои первые исследования в то время, когда самые выдающиеся авторитеты утверждали, что решение задачи невозможно; это нисколько не остановило его; он продолжал с упорством работать по излюбленному им вопросу и, веря в силу человеческого гения, указал новые пути к намеченной цели. В то время, когда техники всего мира останавливались на управляемом аэростате как на единственно возможном приборе для свободного полета, он решается смело высказать, что изобретение аэростатов не только не продвинуло человечество в деле воздухоплавания, но наоборот — затормозило дело, направив капиталы и человеческую мысль на ложный путь. Наблюдая полет птиц, он приходит к заключению, что ключ решения состоит в том, чтобы понять сущность механизма их полета; он обращает внимание на строение крыльев и целым рядом исследований приходит к выводу, что вогнутость крыльев играет громадную роль в полете. Эта ничтожная вогнутость, которая была всем давным-давно известна, благодаря тонкой наблюдательности Лилиенталя и благодаря его пылливому уму, получает, таким образом, совершенно новое освещение.

Параллельно с исследованием полета птиц О. Лиликталь производит многочисленные опыты над сопротивлением воздуха и приходит к новым выводам и к новым формулам. Механизм крыльчатого аппарата птиц оказался бы совершенно непонятным, если бы О. Лиликталло не удалось подметить, а затем и подтвердить опытами тот факт, что при ударном действии сопротивление воздуха получает совершенно иную величину, чем при спокойном движении.

Он не ограничивается, подобно большинству исследователей, производством опытов в закрытых помещениях, но переносит их в открытое поле и тотчас же замечает, что там явление происходит совершенно иначе. Это обстоятельство побуждает его ближе ознакомиться со структурой ветра, и ему удается констатировать факт, что ветер дует не горизонтально, а направляется кверху. Этот подмеченный О. Лиликталем факт объясняет очень многое в полете птиц.

В своих исследованиях О. Лиликталь идет еще дальше: он приходит к выводу, что недостаточно спроектировать какой бы то ни было, даже самый совершенный, прибор, но что нужно еще уметь с ним обращаться в столь мало изученной и подвижной среде, как воздух, и потому он начинает практиковаться в летании. Правда, полеты эти далеки от того идеала, к которому он стремился, но все же это были настоящие полеты (скользящие), и О. Лиликталь, несомненно, был первым летающим человеком. Эти упражнения закончились катастрофой, но его инициатива не пропала даром и вызвала массу подражателей; появился новый вид спорта, который может разъяснить весьма многое в механизме полета.

Та любовь, которую вкладывал О. Лиликталь в изучение воздухоплавания и которую он запечатлел своей славной смертью, сквозит в каждом слове его сочинения; глубокой верой, граничащей с полным убеждением в возможности человеку летать, проникнуто все его сочинение. Можно сказать даже больше, что предлагаемая книжка представляет собой поэму воздухоплавания: во многих местах простое изложение прозой автор считает недостаточным и прибегает к помощи поэзии. К достоинствам книги следует отнести



также и то обстоятельство, что все изложено просто, понятно и популярно и рассчитано не на читателя-специалиста, а на обыкновенного читателя. Поэтому мы выражаем полную уверенность, что предлагаемый перевод прочтется с большим интересом.

*Е. Федоров*

# Предисловие автора

Наши познания механики полета птиц далеко не соответствуют современному состоянию науки.

Исследование полета как будто направилось по пути, не дающему никаких результатов, так как наши знания основ искусства полета далеко не достигли той ясности и полноты, как это было бы желательно. По крайней мере, законы сопротивления воздуха настолько мало изучены, что чувствуется положительный недостаток в самых необходимых данных для возможности приступить к решению задачи воздухоплавания с помощью математического анализа.

Сообщая в этом труде моем целый ряд опытов и вытекающих из них воззрений, разработанных мною совместно с моим братом Густавом Лилиенталем, я имею в виду дать путеводные нити для изучения особенностей явлений, происходящих вследствие сопротивления воздуха, и таким образом подвинуть вперед дальнейшее исследование основных, важнейших положений техники воздухоплавания.

Из опытов этих, производившихся в течение 23 лет, можно было, сопоставляя результаты, прийти к некоторым выводам, дающим известную законченность в логическом развитии мысли, стремящейся расчленить явления, происходящие при полете птиц, и таким образом объяснить их, чем хотя и не исчерпывается вопрос, но значительно облегчается его постановка.

Не претендуя на то, что в предлагаемом труде дается теория полета птиц в окончательном виде, я все же надеюсь, что каждый найдет в нем достаточно данных для поддержания интереса, и теперь уже повсюду возрастающего, к вопросу об искусстве свободного полета. В особенности я желал бы привлечь специалистов к производству поверочных опытов для объяснения полученных мною результатов.

Работою своею я хотел бы распространить убеждение не только между специалистами, но и между всеми образованными людьми, что в действительности не имеется такого закона природы, в силу которого решение задачи свободного полета представляло бы собою непреодолимые преграды. Я желал вселить во всех мыслящих людей надежду, что, с точки зрения механики, можно достигнуть решения этой высшей задачи техники, основываясь на имеющихся уже фактах и на выводах, сделанных из точных измерений.

Для того чтобы не ограничивать круга своих читателей одними специалистами, я старался быть понятным каждому, недалеко ушедшему в изучении математики и механики, и свое изложение вел так, чтобы каждый образованный человек мог следить за ним без особых затруднений, с помощью знания самых элементарных понятий механики, которые к тому же, по возможности, разъяснялись в тексте. Более сложные и мало понятные для обыкновенного читателя расчеты обставлены так, что общее понимание от этого пострадать не может.

Лицам, привыкшим к постоянному общению с математикою и механикою, изложение покажется слишком растянутым и не достаточно обстоятельным; они предпочли бы более сжатую форму; у них я прошу снисхождения в интересах большинства читающей публики.

Передавая свой труд на всеобщий суд, прошу благосклонно принять во внимание упомянутые мои стремления.

*Отто Лилиенталь*

## § 1. Введение

Ежегодно с наступлением весны атмосфера населяется бесчисленным множеством радостных существ. Аисты, возвратившиеся в свои северные жилища, свертывают грациозный летательный аппарат, пронесший их многие тысячи миль, закидывают голову на спину и возвещают о своем прибытии радостным шелканием. Ласточки, окончив перелет, снуют вдоль домов и перед окнами с плавными движениями крыльев и парят вдоль улиц то вверх, то вниз. Жаворонок в виде маленькой точки стоит над головою и громким радостным пением изливает свой восторг, вызываемый прелестью жизни. Тогда и человека охватывает страстное желание подняться повыше и, подобно птице, свободно скользить в воздухе над смеющимися полями, над тенистыми лесами, над зеркальной поверхностью озер и насладиться прелестью ландшафта так же полно, как это возможно пока лишь птицам.

Кто, по крайней мере в это время, не пожалеет, что человек до сих пор лишен искусства свободного полета и не может, подобно птице, расправить крылья и удовлетворить свою любовь к путешествиям этим наисовершеннейшим путем.

Должны ли мы всегда считать это искусство нам недоступным и только восхищаться низшими существами, описывающими так высоко в глубоком эфире восхитительные круги?

Должно ли это грустное сознание еще более отягощаться уверенностью, что нам никогда и ни под каким видом не удастся перенять от птиц их искусство? Или человеческий разум сумеет найти средства, которые выполнят то, в чем нам отказала природа?

Ни то, ни другое положение до сих пор не доказано, но мы с удовольствием должны установить факт, что

число людей, серьезно принявших на себя задачу внести побольше света в эту темную область познаний, постоянно растет.

Наблюдение природы на каждом шагу наводит на мысль, что искусство свободного полета не может и не должно быть навсегда недостижимым для человека.

Тот, кто имел случай наблюдать тех больших птиц, которые рассекают воздушное царство медленными ударами крыльев или даже часто парят с распростертыми и неподвижными крыльями, тот, кому удавалось видеть в непосредственной близости полет больших летунов океана, тот, кому случалось наслаждаться созерцанием красоты и законченности их движений и любоваться уверенностью, с какой они управляют своим летательным аппаратом, тот, наконец, кто, на основании спокойствия этих движений, убедился в умеренности развиваемых при этом усилий, равно как и в том, что ветер содействует подобному полету, уменьшая и без того незначительную работу, — тот ни на минуту не будет колебаться в выборе пути, по которому следует идти для достижения ясного понимания и таким образом сойти с дороги, которая до сих пор только мешала нам отделиться от земли для свободного полета.

Дело тут не в одном только нашем желании подражать птицам; напротив — мы должны считать своей обязанностью не успокаиваться до тех пор, пока мы не достигнем полной научной ясности в объяснении сущности летания: получится ли в результате указание, что нам никогда не удастся найти верный путь для свободного передвижения в воздухе, или, наоборот, добытые сведения научат нас искусственно выполнять то, чему природа ежедневно поучает нас в полете птиц.

Итак, мы примемся добросовестно, как того требует наука, без всяких предвзятых мыслей, за исследование вопроса, что представляет собой полет птиц, как он происходит и какие можно сделать из него выводы.

## **§ 2. Основной принцип свободного полета**

Наблюдение над летающими животными показывает, что при помощи надлежащего вида крыльев, приводимых

в движение соответственным образом в воздухе, возможно поддерживать тяжелые тела плавающими в воздухе и передвигать их с большой скоростью в любом направлении.

Вес летающих животных не настолько существенно отличается от веса других животных, чтобы можно было сделать заключение, что легкость есть главное требование для возможности полета.

Правда, распространено мнение, что пустотелые кости птиц облегчают полет именно тем, что пустоты эти наполнены согретым воздухом, но достаточно немного только подумать, чтобы убедиться, что о подобном облегчении вряд ли стоит говорить.

Специфическая легкость мускульных и костных тканей, равно как и других частей птичьего тела, до сих пор не установлена.

Может быть, птицам приписывается особая легкость, благодаря их оперению, вследствие которого они кажутся гораздо больших размеров, нежели в действительности, в особенности когда у убитой птицы перья растопырены, а не плотно прилегают к телу. Про ощипанную птицу мы не имеем основания утверждать, что она сравнительно легче, нежели другие животные; наши хозяйки тоже вряд ли найдут, что кило птичьего мяса, смешанного даже вместе с пустотелыми костями, имеет больший объем, нежели такого же веса кусок мяса млекопитающего.

Если к ощипанной птице присоединить перья, то от этого она, конечно, не сделается легче, потому что перья тоже тяжелее, нежели воздух.

Поэтому оперение может облегчать птице расправлять крылья, может закруглять и сглаживать ее тело и тем облегчать скольжение в воздухе, но дальнейшего влияния на облегчение подъема оно иметь не может. Скорее же следует принять, что свободный подъем с земли, устойчивость в воздухе и быстрота передвижения в нем происходят у летающих животных благодаря известным механическим приемам, которые при помощи особых приспособлений могли бы быть воспроизведены и теми существами, которых природа лишила способности летать.

Среда для движения летающего животного есть воздух; незначительная плотность его не дает возможности

парить и плавать в нем так, как это делают рыбы в воде, но становится необходимым, чтобы подъемные поверхности или крылья у летающих животных постоянно поддерживали движение воздуха, сопряженное часто с большой затратой мускульной энергии; это необходимо для того, чтобы воспрепятствовать падению тела на землю.

Эта небольшая плотность воздуха, затрудняющая свободный подъем, с другой стороны, представляет громадное преимущество двигающимся в нем животным.

Происходящая, вследствие небольшой плотности воздуха, легкость его пронизывания доставляет возможность многим животным двигаться с чрезвычайной быстротой; и вот мы замечаем у многих птиц скорости полета, приводящие в изумление, так как они значительно превосходят скорость самых быстрых железнодорожных поездов. Итак, если при помощи искусства летания произошел свободный подъем в воздухе, то достижение больших скоростей передвижения в воздухе представляется уже не особенно трудной задачей.

Потому мы должны считать особенностью при движении в воздухе не быстроту полета, а способность держаться в воздухе; если последнее условие выполнено надлежащим образом, то первое достигается само собой.

Летающий животный мир с птицами во главе дает доказательство тому, что движение в воздухе по своей законченности значительно превосходит движение прочего животного мира, включая сюда и искусственное передвижение людей.

Имеются животные как на земле, так и в воде, которые возбуждают наше удивление быстротой движения, развиваемой ими частью при преследовании добычи, частью — при бегстве от сильнейшего врага. Но что значит эта быстрота по сравнению с быстротой птиц?

Описать круг в несколько миль около бегущего океанического парохода, отстать от него на несколько миль и затем в одно мгновение перегнать его опять на несколько миль для альбатроса — сущие пустяки.

Брем, этот выдающийся знаток птичьего мира, с восторгом рисует выносливость больших летающих жителей океана. Этот исследователь считает доказанным, что по-

добные птицы в открытом океане, следуя днем и ночью за пароходом, идущим на всех парах, делают целые сотни миль, не отставая ни на шаг от него и позволяя себе лишь кратковременный отдых на воде, но никогда не выбирая для этой цели само судно.

Кажется даже, что эти птицы и отдыхают в воздухе, потому что их можно видеть летающими не только днем, но и ночью. Они с таким совершенством пользуются подъемной силой ветра, что им почти не нужно прибегать к содействию мускульных усилий.

И тем не менее, они всегда находятся там, где это им нужно, и полет их подчиняется как бы одной только их воле.

С самой колыбели цивилизации человек стремится усвоить себе этот наиболее совершенный способ передвижения.

Тысячекратно человек делал попытки достигнуть этого подобно птицам. Человечество приготовило и испробовало бесчисленное множество крыльев и . . . выбросило их вон. Все, все напрасно и бесполезно для достижения этой, страстно преследуемой, цели.

Настоящий свободный полет представляется для человечества такой же неразрешенной задачей, как это было тысячи лет тому назад.

Первое действительное поднятие человека в воздухе произошло при помощи аэростата. Аэростат весит менее, нежели вытесненный им воздух, и потому может поднять с собой различные тяжелые тела. При всевозможных условиях, даже при продолговатой заостренной форме, аэростат имеет столь большое поперечное сечение по направлению движения и встречает столь сильное сопротивление воздуха, что ему становится невозможным двигаться, в особенности против ветра, с такой скоростью, которая подавала бы надежду когда-либо приобрести выгоды столь же быстрого перемещения, какое мы видим у летающих животных.

Поэтому, для того чтобы человек мог пользоваться величественным полетом животного мира, ему остается только совершенно отказаться от помощи подъемной силы, развиваемой легкими газами, т. е. от аэростатов, и заняться тем



способом полета, при котором в дело идут тонкие крылья, представляющие небольшое сопротивление воздуху в горизонтальном направлении.

Основная идея подобного полета состоит в том, чтобы в направлении движения не было больших поперечных сечений и чтобы подъемная сила развивалась при посредстве тонких крыльчатых поверхностей, распростертых, по преимуществу, в горизонтальном направлении и приводимых в движение почти перпендикулярно по отношению к летящему телу.

Опираясь на этот принцип, летящие животные в состоянии достигнуть свободного поднятия и развить быстрое наступательное движение в воздухе. Если мы и захотим воспользоваться этим принципом, то прежде всего должны достигнуть правильного освещения подобного способа полета.

Но обнаружение связи между такого рода движением и его причиной может быть достигнуто лишь правильным исследованием механических явлений, происходящих при полете; механика, т. е. наука о действиях силы, дает нам средства объяснить их.

Итак, искусство летания есть задача, научное исследование которой предполагает, по преимуществу, знакомство с механикой. Требующиеся для этой цели соображения сравнительно весьма просты, и потому полезно сначала бросить взгляд на соотношение между механикой и искусством летания.

### **§ 3. Искусство летать и механика**

Если мы хотим заняться механикой полета птиц, то нам следует познакомиться, главным образом, с теми силами, которые действуют на летящую птицу. Полет птиц есть не что иное, как постоянное преодоление силы, которая притягивает к земле решительно все тела. Летящая птица, с помощью искусства летания, однако же, преодолевает это притяжение и не падает на землю, хотя последняя, конечно, притягивает ее к себе и стремится удержать около себя совершенно так же, как и другие не летающие существа.

Самый полет есть постоянная упорная борьба с притяжением земли, а для преодоления этого противника весьма важно сначала поближе познакомиться с ним.

Сила притяжения земли, или сила тяжести, есть следствие общего закона, управляющего всем миром, по которому все тела природы взаимно притягивают друг друга. Эта сила возрастает с увеличением массы тел и убывает пропорционально квадрату их расстояния. За расстояние между взаимно притягивающимися телами следует принимать расстояние между их центрами тяжести.

Поэтому, несмотря на то, что птица при полете поднимается все выше и выше в воздухе, о происходящем уменьшении силы тяжести не стоит говорить, настолько поднятие это ничтожно мало по сравнению с расстоянием птицы от центра тяжести земли, или, что все равно, от ее геометрического центра.

По той же причине, вследствие того, что мы гораздо ближе к земле, нежели к другим небесным светилам, мы можем испытывать лишь силу притяжения одной земли.

Вес тела есть та сила, с которой земля притягивает к себе данное тело. За единицу сил мы примем вес 1 kg и будем мерить ею все прочие силы.

Силу мы можем изображать графически, откладывая по направлению ее действия отрезок прямой определенной длины, пропорциональной ее величине.

Сила тяжести всегда направлена по отвесной линии, идущей к центру земли.

О притяжении земли, равно как о всякой другой силе, мы можем судить только по ее действию; видимое же ее действие, равно как и всякой другой силы, состоит в производстве движения.

Если сила действует на свободное, покоящееся тело, то оно начинает двигаться в направлении действия силы и скорость движения постоянно возрастает. В каждый данный момент величина движения измеряется путем, проходимым в течение одной секунды, если в продолжение этой секунды движение будет равномерное. Этот путь, проходимый телом в течение секунды, называется его скоростью.

Притяжение земли, или сила тяжести, заставит птицу, висящую в воздухе и мгновенно лишенную способности

летать, двигаться вниз с постоянно возрастающей скоростью, пока птица наконец не упадет на землю.

Но подобное падение не даст точного понятия о действии силы тяжести, потому что сопротивление воздуха изменяет как скорость падения, так и ее направление.

Полное действие силы тяжести может быть обнаружено лишь в безвоздушном пространстве, и в нем тела, независимо от их строения, падают с равномерно возрастающей скоростью и именно так, что в конце 1-ой секунды приобретают скорость 9,81 m и затем постоянно, через каждую секунду скорость эта возрастает на 9,81 m; это приращение скорости в секунду называется ускорением. Итак, ускорение силы тяжести равно 9,81 m; это ускорение силы тяжести может быть замечено не только падающей, но и летящей птице; так, мы видим, что, пока птица готовится к удару крыльями, сила тяжести с ее ускорением начинает действовать на птицу и заставляет ее опускаться на некоторую величину до тех пор, пока новый удар крыльями не поднимет птицу на ту самую величину и не уничтожит таким образом действие силы тяжести.

Притяжение земли не есть единственная сила, действующая на птицу, и если она обладает способностью летать, то именно благодаря присутствию других сил, с помощью которых она только и может бороться с силой тяжести.

Механика разделяет силы на два рода: на двигающие, или силы в узком смысле слова, и на задерживающие силы, или сопротивления.

Двигающие силы или собственно силы, как показывают их название, служат для производства движения.

К этим силам, кроме силы тяжести, относятся, например, мускульная сила животных, расширительная сила сжатого пара, сила натянутой пружины и т. д.

Каждая двигающая сила может двигаться и силой сопротивления, если она действует надвигающееся тело в обратном направлении его движению и таким образом мешает движению, как это происходит, например, при действии силы тяжести на тело, брошенное вверх.

Между сопротивлениями нужно на первом месте поставить ту силу, свойством которой природа так хорошо

воспользовалась при полете птиц и которой нам придется заняться по преимуществу в этом труде, это так называемое «сопротивление средины», которое испытывает каждое тело,двигающееся в известной среде, например, в воздухе. Подобное сопротивление никогда не может быть двигающей силой в прямом смысле слова, потому оно и появляется только благодаря движению, постоянно стремится ослабить его и прекращается лишь вместе с прекращением самого движения.

Сопротивление средины, как например, сопротивление воды или сопротивление воздуха, может выступить в качестве двигающей силы лишь косвенно, когда движется сама среда, т. е. вода или воздух, чему примером служат водные и ветряные мельницы; сюда же относится и парение птиц, как мы это увидим впоследствии.

К числу других сопротивлений можно отнести например, трение, или силу сцепления твердых тел; и эти силы не могут стать непосредственно двигающими и появляются лишь тогда, когда другие силы стремятся преодолеть их, как например, при перетаскивании грузов или при обработке дерева, металлов и других твердых тел, когда режущей сталью желают преодолеть их силу сцепления.

Хотя причиной движения всегда бывает сила, но отсюда не следует, что на тело не действует никакая сила, если оно не двигается. Если, например, тело покоится на подставке, то все же на него действует сила притяжения земли, но ее действие уничтожается действием другой ей равной и прямо противоположной силы, а именно — давлением опоры, которая давит на тело с такой же силой, с какой оно давит на опору.

Здесь обе действующие силы взаимно уничтожаются, и тело остается в равновесии покоя.

На парящую в высоте птицу тоже должна действовать какая-нибудь поддерживающая сила, направленная снизу вверх и которую птица так или иначе должна произвести, и эта сила должна уравновешивать вес птицы.

Действующие на летящую птицу силы складываются так, как этому учит механика, т. е. если они действуют в одном и том же направлении, то взаимно усиливают друг друга, если же направлены прямо противоположно, то вза-

имно или вовсе, или частью уничтожаются, смотря по их относительной величине.

Силы, действующие на птицу в различных направлениях, можно складывать по закону параллелограмма сил, равно как на основании того же закона можно одну силу разлагать на две и более сил, которые вместе окажут такое же действие, как и одна не разложенная сила.

Движение птицы, происходящее вследствие действия на нее каких-либо сил, ничем не отличается от движения всякого другого тела, подверженного действию тех же сил.

Если сила, приведшая тело в движение, перестанет действовать или явится новая сила, уравнивающая первую, то тело будет продолжать двигаться с той же скоростью и в том же самом направлении, как оно двигалось в последний момент действия одной только силы. Тогда тело находится в равновесии движения и, пока движение продолжается, действие сил как-бы не проявляется.

В таком положении находится птица, летящая с равномерной скоростью. И здесь существует равновесие между силами, потому что птица своими ударами крыльев вызывает не только силу, уравнивающую действие силы тяжести, но также и то сопротивление, которое она испытывает со стороны воздуха по направлению движения.

Так как вся природа представляет собой вечное взаимодействие сил и вечную же материю, то человек пользуется взаимодействием сил для известных технических целей.

Когда мы ногами приводим в движение токарный станок или точило для обработки металлов и заставляем таким образом мускульную силу ног преодолевать силу сцепления или трения, то нам этот прием кажется очень простым. Не менее простыми представляются нам вытекающие из правильных умозаключений соображения, показывающие, каким путем дремлющая в горячем материале сила может быть призвана к деятельности в виде силы пара и преодолевать тогда такие сопротивления, которые не под силу нашим мускулам.

Придет время, когда техника летания займет видное место среди других занятий человека, время, когда она переправится через мост, разделяющий царство идей от действительности, и тогда человек, ясно поняв средства, с по-

мощью которых можно избежать излишне большого напряжения сил, предпримет, наконец, свой первый свободный полет в воздухе.

Создаст ли этот человек свой летательный аппарат так, чтобы он мог, как это было бы желательно, своей собственной мускульной силой произвести требуемые движения, или для приведения в движение крыльев ему понадобится работа машин, во всяком случае он явится победителем в борьбе и впервые овладеет силами, необходимыми для летания.

Прежде всего мы должны вполне точно узнать величину этих сил и работы. Только после этого мы можем начать обдумывать средства для осуществления задачи.

Но что это за сила и что это за работа, развиваемые при полете? Эти понятия имеют и в искусстве летания то же самое значение, как и во всей технике вообще. Каждая сила производит работу, каждое сопротивление требует работы для своего преодоления. Работа необходима для поднятия кирпичей на леса, работа необходима для выкачивания воды из земли, работа требуется для перемешивания цемента с водой, работа необходима также и для того, чтобы заставить крыло бить по воздуху.

Величина работы зависит от величины действующей силы или от величины преодолеваемого сопротивления; затем она зависит от пути, проходимого этим сопротивлением.

Работающая сила и длина проходимого ею пути суть два множителя, из которых составляется работа. Произведение этих множителей, т. е. *«силы на пройденный путь»*, дает меру величины работы.

Это произведение из силы на пройденный ею путь называется *«механической работой»*, причем принято силу выражать в килограммах, а длину — в метрах, и произведение называют килограмметром (kgm).

Скорость, с которой производится подобная механическая работа, зависит от напряжения или энергии действующей силы. Время, необходимое для получения известной работы, является поэтому мерилем работоспособности действующей силы.

За мерило рабочей энергии принимают механическую работу, развиваемую в течение 1 секунды, и сравнивают ее с той работой, которую, средним числом, может произвести лошадь в 1 секунду.

Лошадь может в 1 секунду преодолеть силу в 75 kg; на протяжении 1 метра она может, следовательно, произвести работу 75 kgm в секунду; при этом безразлично, как велика будет сила или пройденный путь, лишь бы произведение их равнялось 75.

Эту работу, развиваемую лошадью в секунду, называют лошадиной работой или лошадиной силой и еще чаще паровой лошадью и обозначают «НР»<sup>1</sup>.

Человек, если он должен работать продолжительное время, может развить работу в  $\frac{1}{4}$  паровой лошади. В короткое же время человек может развить гораздо большую работу, в особенности если он работает ногами, снабженными сильными мускулами, как например, при восхождении по лестницам.

В течение короткого промежутка времени по удобовосходимой лестнице можно поднять свой собственный вес на 1 m в секунду. Таким образом, человек весом в 75 kg развивает работу в 75 kgm или паровую лошадь.

Для определения величины работы нужно знать лишь величину преодолеваемой силы и величину пути, проходимого в секунду по направлению действия силы, или скорость, с которой преодолевается сила; направление же силы или пути, по которому происходит сопротивление, роли не играет, потому что направление это может быть изменено по произволу при помощи простых механических средств.

Так как в дальнейшем придется основываться на действии крыла как рычага и на изменении законов моментов сил, в которых и выражается действие сопротивления воздуха на крыло, то и все искусство летания является механической задачей, анализом которой мы и займемся.

---

<sup>1</sup>Прим. перев. Сокращенное английское выражение «horse power». В этом определении Лилиенталь делает небольшую ошибку, потому что английская паровая лошадь или НР несколько больше 75 kgm; последняя же работа обозначается F.C.H.

## § 4. Сила, поднимающая летящую птицу

Почему летящая птица не падает на землю; какая невидимая сила поддерживает птицу в воздухе? Этот вопрос по отношению к *виду* силы должно считать вполне решенным. Мы знаем, что поддерживающей силой может быть только сопротивление воздуха, которое проявляется при производимом птицей движении крыльями.

Далее мы знаем, что это сопротивление должно быть равно, по меньшей мере, весу птицы и должно быть направлено прямо противоположно силе тяжести, т. е. снизу вверх.

Так как летящая птица не находится в соприкосновении ни с каким другим телом, кроме окружающего ее воздуха, то поддерживающая сила может быть создана только самим воздухом и следовательно обуславливается им или его свойствами.

Эта сила, поддерживающая птицу в воздухе и происходящая вследствие мускульной работы, приводящей в движение крылья, не может быть ничем иным, как сопротивлением воздуха, т. е. той силой, которая должна быть преодолена каждым двигающимся в воздухе телом, тем сопротивлением, которое противодействует этому движению.

В то же самое время, однако, это та же сила, с которой давит на тело двигающийся воздух или ветер.

Мы знаем, что эта сила возрастает вместе с поперечным сечением двигающегося тела и что с возрастанием скорости движения тела или самого воздуха сила эта возрастает еще в большей степени.

При ударе крыльев сверху вниз должно произойти сопротивление воздуха, направленное в противоположную сторону, а именно снизу вверх; происходящая при этом сила будет в состоянии удержать тело птицы от падения только при достаточной скорости движения крыльев.

Поднятие крыльев должно происходить при других условиях, потому что в противном случае получилась бы обратно направленная сила, которая настолько же опустила бы тело птицы вниз, насколько удар поднял его.



Допустим на первый раз, что крыло при подъеме получает такой поворот, что при этом происходит весьма малое сопротивление, или что воздух получает возможность проскальзывать между повернутыми перьями и таким образом представляет мало сопротивления поднятию крыла.

Во всяком случае, подъемное действие крыла при опускании должно вознаградить падение, происшедшее при поднимании крыла.

Отсюда следует, что при ударах летящей птицы крыльями должно произойти сопротивление воздуха, действие которого должно равняться силе, направленной вверх и равной, по меньшей мере, весу птицы.

## **§ 5. Общие понятия о сопротивлении воздуха**

Когда тело движется в воздухе, то частицы последнего подталкиваемые телом, должны уклоняться в сторону и сами прийти в движение по некоторому направлению. Позади тела воздух также придет в движение.

Если тело движется с равномерной скоростью в спокойном воздухе, то и в самом воздухе, окружающем тело, произойдет равномерное движение, которое в главных чертах состоит в том, что частицы воздуха расходятся впереди тела и снова примыкают позади него.

Остающийся позади тела воздух будет частью сопутствовать телу, а кроме того, в воздухе произойдут правильные колебания, которые будут продолжаться еще некоторое время на пути, пройденном телом, и только понемногу прекратятся вследствие взаимного трения между его частицами.

Все эти движения, происшедшие благодаря прохождению тела, должны быть переданы воздуху, находившемуся ранее в покое; вследствие этого и воздух, в свою очередь, должен представить этому телу некоторое измеримое сопротивление, для преодоления которого необходима сила такой же величины.

К сожалению, сопротивление воздуха изучено лишь для немногих наиболее простых случаев, и можно сказать, что величина сопротивления действительно известна толь-

ко для тонкой плоской пластинки, двигающейся в воздухе перпендикулярно самой себе<sup>2</sup>.

Для случая движения в другом направлении плоской пластинки формулы, данные в различных технических справочниках, уже так сильно разнятся между собой, что не могут внушать особого доверия.

Еще менее известны законы сопротивления воздуха кривым поверхностям.

Эту часть механики следует признать весьма слабо разработанной.

Достаточно выясненным и подтвержденным многими опытами можно считать лишь тот закон, что сопротивление воздуха пропорционально площади и квадрату скорости.

Площадь в  $1 \text{ m}^2$ , двигающаяся нормально к самой себе с равномерной скоростью  $1 \text{ m}$  в секунду, испытывает сопротивление около  $0,13 \text{ kg}$ . Отсюда для плоскости  $F \text{ m}^2$ , двигающейся со скоростью  $v$  в секунду, сопротивление воздуха  $L$  в килограммах выразится формулой:

$$L = 0,13Fv^2.$$

Направлено это сопротивление, как видно по существу дела, перпендикулярно к поверхности, а точка приложения находится в ее центре тяжести.

При этом необходимо заметить, что приведенная формула может быть применена лишь для случая *равномерной* скорости, причем окружающий воздух принял известное *установившееся движение*. При колебательных же движениях крыльев явление будет происходить иначе, что и будет рассмотрено в своем месте более обстоятельно.

Недостаточность данных о сопротивлении воздуха в технических учебниках и справочных книжках происходит вследствие того, что не было никакой настоящей потребности в более точных сведениях по этому предмету. Техника полета впервые дала почувствовать этот пробел, который для всей остальной техники имеет весьма мало значения.

---

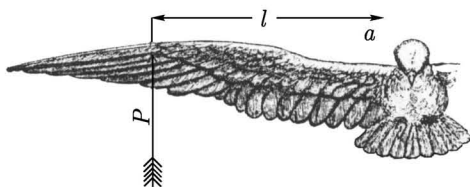
<sup>2</sup>Прим. переводчика. Следовало бы сделать еще большее ограничение, а именно: величина сопротивления известна для тонкой, *небольших размеров* пластинки, двигающейся перпендикулярно самой себе с небольшой скоростью.

## § 6. Крыло как рычаг

Все точки поднимающегося или опускающегося крыла птицы имеют различные скорости; непосредственно около тела скорость почти нуль и постоянно возрастает к концу крыла. Сопротивление воздуха, вызываемое различными частями крыла, будет поэтому также различно.

Хотя мы и знаем, что все сопротивление воздуха, развивающееся под крыльями птицы, должно иметь величину, по меньшей мере, равную весу птицы, но как эта сила распределяется между отдельными частями крыла, мы в точности не знаем, так как на это распределение влияют различные побочные обстоятельства.

За центр приложения сопротивления воздуха следует принять ту точку крыла (рис. 1), приложив к которой полное сопротивление, получим тот же момент относительно точки вращения  $a$ , какой получается в действительности при неравномерно распределенной подъемной силе этого сопротивления. Для точки  $a$  вращения крыльев плечом рычага сопротивления воздуха будет  $l$ .



$$\text{Момент силы} = P \times l$$

Рис. 1

В этом центре птица и ощущала бы все сопротивление воздуха, если бы крыло было неупругим органом неизменяемого вида, настоящим рычагом, чего нет на самом деле. Птица чувствовала бы в этой точке истинную опору для себя. Хотя, строго говоря, в действительности это и не так, но все же при ударе крылом птица развивает такое же напряжение, как если бы она должна была при помощи

крыла как рычага преодолеть силу, равную сопротивлению воздуха и приложенную в центре.

Для определения мускульной работы, расходуемой птицей для крыла, должна быть принята скорость той точки его, которая находится в центре сопротивления воздуха, давящего на него снизу. Момент силы  $P \times l$  относительно точки  $a$  дает меру для определения прочности крыла в наиболее напряженной его части.

## § 7. Работа, развиваемая при движении крыльев

Птица чувствует сопротивление воздуха движению крыльев; она преодолевает его, и в этом собственно и состоит развитие силы летящей птицы или ее работы. Преодолевать сопротивление воздуха приходится именно при ударе крыльями вниз.

Работа птицы в секунду при ударе крыльями определится произведением преодолеваемой силы на путь, ею проходимый в течение секунды, т. е. произведением сопротивления воздуха, вызванного крыльями, на скорость движения в секунду центра сопротивления воздуха.

Если сопротивление измеряется в килограммах, а скорость — в метрах, то работа выразится в килограмметрах; 75 kgm дают лошадиную силу 1 HP.

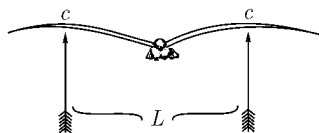


Рис. 2. Поддерживающее сопротивление воздуха

Поэтому если мы знаем развиваемое обоими крыльями сопротивление  $L$  (рис. 2) и скорость точки  $c$  его приложения, то мы можем точно вычислить израсходованную птицей мускульную работу, необходимую для этого движения.

Если, например, птица должна развивать средним числом сопротивление воздуха в 3 kg для того, чтобы держаться в воздухе, и если при этом центр крыла движется

со средней скоростью 1 m в секунду, то работа в секунду будет  $3 \times 1 = 3 \text{ kgm}$  или  $\frac{1}{25}$  паровой лошади<sup>3</sup>.

Этот пример указывает нам зависимость, существующую лишь между результатом полета и численным значением потребной для полета работы.

## **§ 8. Действительная траектория крыла и ощущаемая птицей скорость его**

Поступательное движение есть конечная цель полета, и потому птицы по большей части производят своими крыльями движения, направленные не только сверху вниз, но также, одновременно с этим, и вперед. Поэтому абсолютный путь и абсолютная скорость отдельных точек крыла будут наклонены к горизонту одинаковым образом.

Что касается работы, необходимой для опускания крыла, то следует при ее вычислении принимать в расчет не всю абсолютную скорость крыла, а только составную ее часть по отношению к телу птицы, двигающейся вперед, потому что птица преодолевает вызываемое крыльями сопротивление воздуха, ощущаемое ею лишь по той скорости, с каковой она опускает крыло относительно своего собственного тела. Только это движение требует с ее стороны напряжения, и только для него требуется сокращение ее грудных мускулов.

Эту скорость крыльев птицы по отношению к ее телу и должны мы поэтому назвать ощущаемой скоростью крыльев. Только эта скорость и должна быть принята во внимание при расчете мускульной работы птицы при полете, какова бы ни была ее поступательная скорость.

Ощущаемая скорость крыльев не всегда направлена вертикально, и, кроме того, напряжение птицы требуется не на одно только опускание, но также, хотя и в меньшей степени, и на поднятие крыла; если по движению птицы нужно рассчитать развиваемую ею при полете ме-

---

<sup>3</sup>Прим. перев.. Следовало бы оговориться, что подобный расчет справедлив лишь при условии, что направление силы совпадает с направлением движения точки ее приложения.

ханическую работу, то прежде всего следует выделить ту часть скорости крыльев, которой можно пренебречь.

## § 9. Видимая работа птиц

Когда мы видим летящую птицу, то мы всегда можем составить себе приблизительное представление о развиваемой при этом полете работе. Чем медленнее происходят удары крыльями и чем меньше их амплитуда, тем меньшей работы со стороны птицы требует полет. Когда птица парит или кружит с неподвижно распростертыми крыльями, то мы должны принять, что ее мускульная деятельность близка к нулю.

Мы можем также без особого затруднения получить и численную величину работы птицы при полете. Для этого стоит сосчитать число ударов крыла в секунду; затем, зная вес птицы и форму ее распростертых крыльев, мы можем определить приблизительно положение центра сопротивления; зная же еще амплитуду колебания крыла, мы можем определить приблизительно и высоту поднятия этого центра в метрах. Поэтому, на основании таких наблюдений над летящей птицей, мы можем, с известной степенью точности, вычислить работу полета, которая в заголовке названа «видимой работой птицы».

Примем, как это приблизительно и наблюдается, что крыло птицы поднимается с такой же скоростью, с какой и опускается, и что, следовательно, подъем крыла в итоге требует столько же времени, сколько и его опускание. Примем далее, что это поднятие крыла оказывает неуловимо малое влияние на поднятие и на опускание птицы и требует неуловимо малой мускульной работы. Тогда получим, что вся работа птицы при полете расходуется лишь на опускания крыльев и что для вычисления следует принимать в расчет лишь величину проходимого в секунду по отношению к телу птицы центра сопротивления.

Во время поднятия крыла птица, весящая  $G$  kg, будет придавливаема книзу той самой силой, потому что в это время только она одна действует на птицу. Для того чтобы при опускании крыльев птица могла подняться настолько

же, насколько она опустилась при подъеме крыла, должна развиваться подъемная сила в  $G$  kg. Поэтому, при опускании крыльев, сопротивление воздуха, действующее вверх, должно достигнуть величины  $2G$  kg<sup>4</sup> для того, чтобы, за вычетом веса птицы  $G$ , получилась еще подъемная сила  $G$ . Только таким образом и можно представить себе равновесие птицы, не поднимающейся и не опускающейся.

В действительности, как показывает наблюдение, подъем крыльев происходит несколько быстрее, нежели их опускание, вследствие чего подъемная сила должна быть несколько менее  $2G$ . Оставляя, однако, эту величину для предварительных расчетов, мы получим некоторый избыток, который можно принять достаточным для той, хотя и незначительной, но все же существующей работы, которая расходуется на подъем крыльев.

Поэтому для расчетов мы должны допустить, что при опускании крыльев развивается сила величиной в  $2G$ , которую птица и должна развить; силы, действующие при этом на птицу, изображены на рис. 3.

Эти силы должны быть преодолены на всем протяжении пути, пройденного центром сопротивления, и столько раз в секунду, сколько в течение этого времени происходит ударов крыльями; отсюда мы получим второй множитель произведения, выражающего собой работу, развиваемую птицей в секунду. Если назовем через  $s$  путь, проходимый центром сопротивления во время одного удара, и через  $n$  число ударов в секунду, то  $ns$  выразит путь, проходимый центром сопротивления в се-

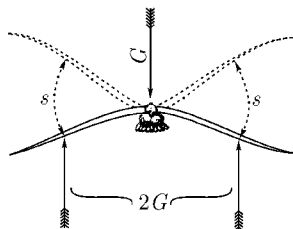


Рис. 3. Сопротивление воздуха

<sup>4</sup>Прим. перев. Приведенные соображения нельзя признать правильными, и против них возможно сделать довольно веские возражения. Строго говоря, усилие, развиваемое птицей при полете, никогда не будет равно  $2G$ , а всегда будет довольно близко к  $G$ , но направлено оно будет не вертикально, а наклонно.

кунду, а для секундной работы  $A$  получим выражение

$$A = 2Gns.$$

Объясним примером:

Аист весит 4 kg и делает 2 удара в секунду; центр сопротивления описывает траекторию длиною около 0,4 m, т. е.  $G = 4, n = 2, s = 0,4$ . Отсюда следует, что аист должен развить работу  $A = 2 \times 4 \times 2 \times 0,4 = 6,4 \text{ kgm}$ , т. е. несколько менее одной десятой паровой лошади.

Весьма было бы поучительно вычислить таким образом работу различных птиц; при этом окажется, что она значительно менее той, которая обыкновенно предполагалась. Полученная при подобном способе вычисления работа будет лишь приблизительной, но все же видно, что она не может значительно разниться от действительной работы, развиваемой птицей.

## § 10. Преувеличение работы, развиваемой при полете

Вследствие недостаточного знакомства с законами сопротивления воздуха выработалось мнение, что птицы развивают столь большую работу, что по своей мускульной силе должны быть признаны какими-то чудовищами. Измеряли не скорость, с которой в действительности птицы двигают своими крыльями, а поверхность крыльев и вычисляли, с какой скоростью должны двигаться они для того, чтобы получилось сопротивление воздуха достаточной величины. При этом пользовались формулами, даваемыми техническими справочными книжками; полученный результат уничтожал всякую надежду воспроизвести когда-либо птичий полет при помощи механических средств. Приведем пример.

Вышеупомянутый аист при весе 4 kg имеет поверхность крыльев около  $0,5 \text{ m}^2$ . Спрашивается, какова должна быть скорость опускающихся крыльев для того, чтобы получить сопротивление воздуха  $2 \times 4 = 8 \text{ kg}$ , необходимое для того, чтобы поддержать в течение этого времени тело птицы?



Из обыкновенной формулы сопротивления

$$L = 0,13Fv^2$$

имеем

$$8 = 0,13 \times 0,5v^2,$$

отсюда

$$v = \sqrt{\frac{8}{0,13 \times 0,5}} = 11 \text{ м приблиз.}$$

Движение это происходит, однако же, лишь в продолжение половины времени полного колебания крыла, и поэтому для расчета следует взять лишь 5,5 м, откуда работа, развиваемая аистом в течение секунды, будет  $8 \times 5,5 = 44 \text{ kgm}$  или более, нежели  $\frac{1}{2}$  НР.

При этом было допущено, что все точки крыла принимают одинаковое участие в работе, т. е. что все они обладают скоростью 11 м; но если принять во внимание действительное движение крыльев, то результат получится еще менее благоприятный и работа аиста выразится более, нежели 75 kgm, т. е. более НР, тогда как в действительности, даже при неблагоприятных условиях полета, аист развивает работу едва в  $\frac{1}{10}$  НР.

Этот пример показывает, каким образом выработалось мнение, что для развития необходимой работы для полета нужно искать спасения лишь в создании чрезвычайно сильных и легких двигателей. Наблюдение природы показывает как раз обратное, т. е. что чрезвычайное развитие силы у птиц, будто бы требующее своеобразных двигателей, должно быть отнесено к области вымыслов, и отсюда невольно вытекает убеждение, что действительный ключ для решения этих противоречий скрывается где-то в другом месте.

## § 11. Работа птиц при различных видах полета

Хотя птица — и очень сильное животное и хотя ее летательный аппарат так сильно снабжен мускулами, как ни

один из органов движения во всем животном царстве, но все же на основании того, что мы знаем о свойствах мускульной ткани, мы должны признать невероятным и невозможным, чтобы птица была в состоянии развить работу<sup>5</sup>, подобную только что вычисленной, т. е. чтобы, например, аист мог развить работу паровой лошади. Приведенный же расчет видимой работы птиц, во всяком случае, значительно более близкий к истине, рисует птиц существами с сильной мускулатурой, но все же не переходящей границы возможного.

Здесь следует прибавить, что многие птицы в состоянии плавать или парить по воздуху, не производя почти вовсе ударов крыльями, а следовательно, не делая никаких мускульных усилий и при этом не опускаясь книзу; это знает каждый внимательный наблюдатель птичьего мира.

Этот вид полета замечается у большинства хищных и болотных птиц, равно как почти у всех морских. Последнее, если не исключительно, то по большей части, пользуются для летания парением, откуда следует, что этот вид полета наиболее соответствует известным способам передвижения в воздухе или известному состоянию воздуха.

Во всяком случае, можно признать за достоверное, что при известных условиях полет может происходить без значительной работы крыльями и что во многих случаях, при помощи приспособленных крыльев, возможен полет, требующий чрезвычайно ничтожного развития двигательной силы, которая, по-видимому, даже менее той, какая необходима для ходьбы по земле.

Только при допущении этой чрезвычайно малой работы для полета становится мыслимой та продолжительность полета, которая замечается у многих птиц, которые часто летают в течение целого дня от восхода до заката солнца без заметного утомления; как пример, можно привести все виды наших ласточек, буквально живущих в воздухе. Они спускаются на землю только для того, чтобы поднять необходимый для постройки гнезда материал; черная касатка с трудом даже поднимается от земли, так как ее искрив-

---

<sup>5</sup>Прим. перев. Было бы правильнее употребить здесь термин «мощность». Мы оставляем, однако, термин «работа», потому что он более распространен среди читателей.

ленные ноги годны лишь для влезания в гнездо. Мыслима ли была бы подобная жизнь в воздухе, если бы для полета требовалась хотя бы весьма умеренная работа? Какой страшной энергии питательных и дыхательных процессов должно было бы требовать это непрерывное летание, если бы на это требовалась такая механическая работа, которая получается из вычислений с помощью формул сопротивления воздуха?

Мы стоим лицом к лицу перед загадкой, ближайшее исследование которой составит предмет следующих разделов.

Однако же птица не всегда может довольствоваться развитием подобной незначительной работы, например, в случае, когда она должна подняться с земли или с воды при безветрии или когда она вынуждена держаться в спокойном воздухе, не подвигаясь вперед. Тогда мы видим, что птица бьет своими крыльями сильнее обыкновенного, и ясно замечаем, что подобный полет требует большего напряжения, вследствие которого птица быстро утомляется. Но и тогда это напряжение не достигает той величины, какая исчислена в предыдущем разделе, однако все же им вполне объясняется роль больших и сильных грудных мышц.

Итак, мы видим, что различному характеру полета птиц соответствует и различное количество затрачиваемой работы.

Мы знаем, что поднятие при тихой погоде требует от птицы особенно большого напряжения. Имеется даже много видов птиц, которых нужно причислить к наиболее ловким и выносливым летунам, которые, тем не менее, не в состоянии подняться непосредственно с поверхности земли.

Большинство маленьких птичек может в течение довольно продолжительного времени оставаться на одном месте без поступательного движения и даже при этом несколько подниматься кверху при полном безветрии.

Мы можем наблюдать это, например, на воробье, гонящемся за насекомыми под свешивающимся карнизом дома; возможность подобного полета, однако, ограничена весьма тесными рамками.

Известно, например, что воробей, попавший в дымовую, даже довольно просторную, трубу, уже не может вылететь из нее и взлететь вертикально вверх. Даже в более широких световых фонарях, имеющих сечение 2 m в квадрате, воробьи могут пролететь лишь несколько метров и, не достигнув до верху, истомленные падают вниз. Очевидно, они не могут при этом добиться той поступательной скорости, которая необходима для их полета.

Из этих и многих других примеров становится очевидным, что полет без поступательного движения должен быть признан таким, который требует наибольшего напряжения.

Даже сравнение числа ударов крыльями показывает, что быстро летящая вперед птица развивает гораздо менее работы, нежели при начале своего полета. При быстром полете значительно убывает и амплитуда колебаний крыла.

Несомненно, что силы, появляющиеся при поступательном полете, на основании законов сопротивления воздуха, вызывают уменьшение в работе, отличать которое невозможно; эти силы и составляют причину того явления, что даже при медленном и не широком взмахе крыла появляется сопротивление воздуха, равное или даже большее веса птицы и, во всяком случае, достаточное для необходимого поднятия птицы. Таковую же пользу, которую приносит птице поступание вперед, доставляет ей и встречный ветер. Все птицы облегчают себе взлет тем, что поднимаются против ветра, невзирая даже на грозящую им с той стороны опасность в виде ружья охотника или пасти хищника, так как при охоте на птиц как человек, так и животные пользуются этим обстоятельством.

Многие птицы доставляют себе при взлете необходимую поступательную скорость при помощи большого прыжка. Кто когда-либо видел цаплю, журавля или другую какую-нибудь большую болотную птицу во время взлета при безветрии, тот никогда не забудет делаемого ими характерного прыжка, сопровождаемого ударами крыльев.

Наконец, мы замечаем у птиц третий вид полета, требующий еще значительно меньшего напряжения, так как при нем крылья вовсе не производят ударов, а только слегка изгибаются и вращаются; птица кажется спокойно ле-

жащей на воздухе и только время от времени поправляет слабыми движениями положение своих крыльев, приспособляя их к движению воздуха и к направлению полета.

Для подобного полета или парения, которое часто происходит в виде описывания кругов, требуется, насколько нам это известно, некоторая значительная скорость ветра, потому что для подобного движения птицы поднимаются в более высокие слои атмосферы, где ветер дует сильнее и не встречает никаких препятствий своему движению.

Ясный пример этому доставляют нам хищные птицы, поднимающиеся из лесной чащи: они поднимаются при помощи сильных утомительных ударов крыльями, так как в лесу царствует почти полное безветрие, но лишь только они поднимаются над верхушками деревьев, над которыми ветер дует, не встречая никакого препятствия, они тотчас же начинают описывать свои красивые круги. Тогда они держат свои крылья почти в полной неподвижности и не только не падают вниз, но и поднимаются все выше и выше и под конец становятся совершенно невидимыми для невооруженного глаза.

Подобное парение не следует смешивать с тем движением, которое можно замечать у всех птиц и которое состоит в том, что, держась на неподвижно распростертых крыльях, птица двигается вперед, пользуясь запасом живой силы; чаще всего птица при этом опускается, теряет в своей скорости и, наконец, садится. Остатком живой силы птица часто пользуется для совершенно небольшого подъема в конце пути, а именно тогда, когда она желает сесть не на землю, а на какую-либо возвышенную точку.

Согласно сделанному нами общему обзору различных видов полета мы можем и все движения при полете по отношению к развиваемой при этом работе разделить на три группы.

Первую группу представляет полет без поступательного движения, но также и без содействия ветра, или, выражаясь точнее, при этом полете птица не изменяет заметно своего положения относительно окружающего ее воздуха. Сюда нужно отнести и тот случай, когда птица двигается по направлению ветра и притом как раз с той же самой ско-

ростью, с которой он дует. В подобных случаях требуется самая значительная работа, которая, конечно, значительно возрастает, если птице, кроме того, необходимо быстро подняться кверху по вертикальной линии. Для производства этой работы птица пользуется своей сильно развитой мускулатурой. Каждой птице приходится пользоваться ее грудными мышцами как при взлете, так и при различных маневрах во время охоты, при отыскивании себе пищи в родной стихии.

Ко второй группе должен быть отнесен тот полет, который служит птице для обычного ее передвижения; это не что иное, как обыкновенный гребной полет, сопровождаемый ударами крыльев умеренной скорости; полет этот могут выполнять все птицы. Он всегда сопровождается быстрым перемещением, за исключением лишь случая, когда полет происходит против сильного ветра. Гребной полет требует от птиц умеренного напряжения, причем многие из птиц в состоянии производить его весьма продолжительное время, из чего следует, что означенным полетом не вызывается чрезмерное напряжение работающих при этом мускулов.

Наконец, к третьей группе нужно отнести полет, называемый парением, которое представляет собой почти пассивное плавание в воздухе, причем вовсе не производится ударов крыльями, требующих развития работы.

Для подобного полета, по-видимому, требуется совершенно особо благоприятная организация летательного аппарата, так как только немногие виды птиц, по преимуществу наиболее крупные, в состоянии выполнять этот вид полета, не требующего никакой работы.

Этот вид полета заслуживает тем большего внимания, что он показывает человеку, что решение задачи воздухоплавания зависит вовсе не от создания сильного двигателя, так как возможен полет, не требующий никакой работы и который становится тем легче выполнимым, чем более возрастает, а не убывает величина птицы.

Самой важной задачей техники полета следует считать изучение главных основ именно этого вида летания. Техника должна, тем не менее, принять на себя разъяснение загадки и других видов полета, и механических явлений,

при них происходящих, равно как определить истинный размер требуемой при этом работы.

## § 12. Основы техники полета

Только при помощи основательных исследований возможно продвинуться вперед в понимании явлений, происходящих при полете птиц, и, только опираясь на основы техники полета, можно достаточно правильно объяснить происходящие при этом явления движения, а затем и воспроизвести их искусственно.

Необходима чрезвычайная отчетливость понимания для того, чтобы разрешить те противоречия, которые встречаются при вычислении работы, наблюдаемой при полете.

Как же должны быть устроены крылья и как нужно ими двигать для того, чтобы произвести свободный быстрый полет, требующий развития весьма небольшой работы, и как вообще воспроизвести то, что так мастерски выполнено природой?

Каждый полет происходит вследствие *появления* силы сопротивления воздуха, а работа идет на *преодоление* сопротивления воздуха.

Сопротивление воздуха всегда должно достигать некоторой достаточной силы, но преодоление его должно происходить с возможно *малой скоростью работы*, для того чтобы требуемая на это преодоление при полете работа была по возможности малой.

Отсюда вытекает, что наше знание действительных механических приемов при полете птиц только тогда продвинется вперед, когда мы основательно изучим законы сопротивления воздуха, и у нас рождается убеждение, что только подобное знание даст нам средства плодотворно действовать в области техники полета. Так как полет птиц требует развития незначительной силы, то, правильно исследовав его, мы, в свою очередь, найдем средства воспользоваться им и для себя самих.

Отсюда следует, что законы сопротивления воздуха составляют основу техники полета.

Спрашивается, каким же образом вести исследование законов сопротивления воздуха и вообще изучать те свой-

ства нашей атмосферы, которыми с выгодой можно воспользоваться для поддержания свободно летящего тела? Теоретические рассуждения могут дать только ряд предположений, но не могут создать твердого убеждения. Простой практический опыт, конечно, может дать некоторые положительные результаты, но для дальнейшего всестороннего исследования вопроса все же понадобятся теоретические соображения, и потому для внесения света в эту темную область исследований необходимо, чтобы теория шла рука об руку с опытом.

О немногих материалах, имеющихся для возведения этого сооружения, пойдет речь в следующих разделах.

Хотя из них мы не получим полного объяснения всех отдельных явлений, происходящих при полете птиц, но все же нам станет совершенно ясным, *что птица при естественном полете настолько выгодно пользуется свойством воздуха и обладает такими целесообразными механическими моментами, что отказаться от выгод, сопряженных с птичьим полетом, будет равносильно тому, чтобы вовсе отказаться от какого бы то ни было практически выполнимого способа летания*. Прежде всего это относится к вопросу о развитии необходимой работы. От того, как будет решен этот вопрос техникою, будет, в свою очередь, зависеть возможность пользоваться тем способом передвижения, который мы имеем постоянно перед глазами в виде полета птиц.

### **§ 13. Сопротивление воздуха при равномерном движении плоских поверхностей по нормальному направлению<sup>6</sup>**

Когда тонкая пластинка движется в воздухе с равномерной скоростью по направлению своей нормали, то мы имеем простейший случай движения, для которого чисто

---

<sup>6</sup>Под выражением поверхности, как здесь, так и в дальнейшем изложении, подразумевается телесная, возможно, тонко устроенная летательная поверхность. Не употребляю выражения «плоскость» потому, что оно мало соответствует вогнутым крыльям, которые будут рассматриваться впоследствии.



теоретические соображения, принимая лишь во внимание плотность воздуха, дают формулу, довольно близко удовлетворяющую результатам практического опыта.

Найдено, что сопротивление воздуха возрастает пропорционально величине площади и пропорционально квадрату скорости; к этому произведению присоединяется постоянный коэффициент, зависящий от плотности воздуха и связанной с ней подвижности частиц. Для нашей цели можно пренебречь колебаниями величины этого коэффициента, происходящими от изменения плотности воздуха с температурой и влажностью и принять вышеупомянутую округленную формулу

$$L = 0,13Fv^2.$$

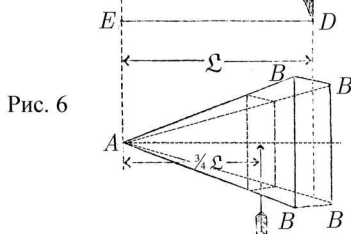
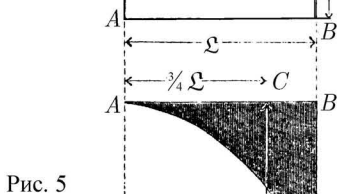
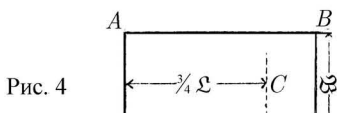
Контур пластинки, равно как и состояние этой поверхности, т. е. будет ли она шероховатая или гладкая, влияют чрезвычайно мало на величину этого сопротивления воздуха, как это показывают непосредственные опыты.

В разделе 5 — «Общие понятия о сопротивлении воздуха» — уже были указаны явления, происходящие в воздухе при подобном равномерном движении поверхности.

## **§ 14. Сопротивление воздуха вращающейся плоской поверхности**

Движение крыльев приблизительно напоминает вращение поверхности вокруг оси. Для каждой полоски этой поверхности  $AABB$  (рис. 4), параллельной оси вращения, вследствие различных скоростей, происходит и различной величины сопротивление воздуха.

Если крыло при длине  $AB = \mathfrak{L}$  имеет всюду одинаковую ширину и вращается около оси  $AA$ , то сопротивление воздуха растет пропорционально квадрату расстояния от  $A$ . Разделив крыло параллельно оси на большое число равных полосок и нанеся соответствующие этим полоскам сопротивления воздуха в виде ординат, получим, что концы их, как показано на рис. 5, расположатся по параболе  $AD$ . Вертикальная линия, проходящая через



центр тяжести площадки  $ABD$ , даст в  $C$  центр сопротивления воздуха, действующего на крыло. Точка  $C$  отстоит от  $A$  на расстоянии  $\frac{3}{4}L$  длины крыла. Можно взглянуть и с другой точки зрения на приведенное выражение, как это показано на рис. 6. Так же, как и ординаты параболы, возрастают поперечные сечения пирамиды, равно как веса отрезков ее, полученных от рассечения пирамиды параллельными ее основанию  $BBBB$  плоскостями на пластинке равной толщины. Центр тяжести этих пластинок, или, что то же, центр тяжести пирамиды, находится также на расстоянии  $\frac{3}{4}L$  от вершины пирамиды.

Полное сопротивление воздуха, представленное на рис. 5 в виде поверхности  $ABD$ , или на рис. 6 в виде объема пирамиды, составляет  $\frac{1}{3}$  того сопротивления воздуха, которое получилось бы, если бы поверхность крыла

двигалась в воздухе со скоростью его конечной точки  $B$ ; это сопротивление выразилось бы площадью прямоугольника  $ABDE$ . Если назовем через  $\mathfrak{B}$  ширину крыла, через  $\mathfrak{L}$  — его длину и через  $c$  — скорость конечной линии  $BB$ , то сопротивление воздуха выразится формулой

$$W = \frac{1}{3} \cdot 0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \mathfrak{L} \cdot c^2.$$

Если хотят ввести в формулу ее угловую скорость, то, заменяя  $c^2$  равной ему величиной  $\mathfrak{L}^2 \omega^2$ , получим

$$W = \frac{1}{3} \cdot 0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \mathfrak{L}^3 \cdot \omega^2.$$

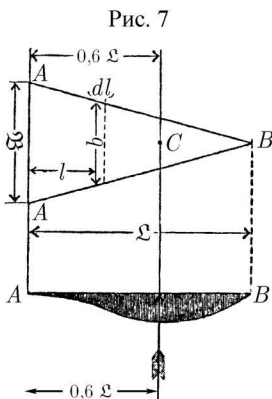
Если треугольное крыло  $ABD$  (рис. 7) вращается около стороны  $AD$ , то происходит лишь  $\frac{1}{4}$  того сопротивления, которое получилось бы, если по всей длине  $\mathfrak{L}$  крыла ширина была бы  $\mathfrak{B}$ , т. е. получится лишь  $\frac{1}{4}$  часть сопротивления, найденного в предыдущем случае.

Хотя площадь треугольника всего вдвое менее площади прямоугольника, но сопротивление воздуха составит лишь  $\frac{1}{4}$ -ю часть прежней величины вследствие того, что именно там, где скорость больше, т. е. у вершины треугольника, площадь имеет меньшую величину.

Доказательство этому не может быть дано при помощи низшей математики, а с помощью высшей выводится следующим образом:

Называя, по-прежнему, угловую скорость через  $\omega$ , получим сопротивление для отрезка  $b \cdot dl$

$$0,13 \cdot b \cdot dl \cdot \omega^2 l^2.$$



Так как  $\frac{\mathfrak{L}}{\mathfrak{B}} = \frac{\mathfrak{L} - l}{b}$  или  $b = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{L}}(\mathfrak{L} - l) = \mathfrak{B}\left(1 - \frac{l}{\mathfrak{L}}\right)$ , то сопротивление отрезка будет  $0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \omega^2 \left( l^2 dl - \frac{l^3}{\mathfrak{L}} dl \right)$ .

Сопротивление же всей поверхности будет

$$0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \omega^2 \int_0^{\mathfrak{L}} \left( l^2 dl - \frac{l^3}{\mathfrak{L}} dl \right) = 0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \omega^2 \left( \frac{\mathfrak{L}^3}{3} - \frac{\mathfrak{L}^3}{4} \right).$$

Или сопротивление воздуха

$$W = \frac{1}{12} \cdot 0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \omega^2 \mathfrak{L}^3,$$

т. е.  $\frac{1}{4}$  сопротивления крыла с одинаковой повсюду шириной  $\mathfrak{B}$ . Момент силы сопротивления воздуха полоски  $b \cdot dl$  относительно оси вращения будет  $0,13 \cdot b \cdot dl \cdot \omega^2 l^3$ ; отсюда, полная величина момента всего крыла будет

$$M = 0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \omega^2 \int_0^{\mathfrak{L}} \left( l^3 dl - \frac{l^4}{\mathfrak{L}} dl \right) = \frac{1}{20} \cdot 0,13 \cdot \mathfrak{B} \cdot \omega^2 \cdot \mathfrak{L}^4.$$

Разделяя этот момент на силу  $W$ , получим величину плеча рычага  $\frac{M}{W} = 0,6\mathfrak{L}$ .

Следовательно, центр сопротивления воздуха треугольного крыла лежит на расстоянии  $0,6\mathfrak{L}$  от оси вращения. Наглядное изображение распределения сопротивления воздуха вдоль поверхности крыла дано на рис. 8.

## § 15. Точка приложения силы сопротивления воздуха при прямом ударе крыла

Только что приведенные вычисления дают нам указания относительно положения центра сопротивления воздуха под крылом птицы. Крыло птицы (рис. 9) никогда не бывает настолько притуплено, чтобы могло быть

принято за прямоугольник, но в то же время оно никогда не бывает настолько заострено, чтобы могло быть принято за треугольник. У крыла прямоугольного или имеющего повсюду равную ширину, при длине его  $L$ , расстояние центра сопротивления от оси вращения будет  $0,75L$ , а у треугольного —  $0,60L$ . Поэтому мы немного уклонимся от истины, если примем для обыкновенного крыла, бьющего вертикально сверху вниз, среднюю величину  $0,66L$  и, следовательно, примем, что расстояние точки приложения сопротивления воздуха находится на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины крыла от плечевого сочленения.

При этом, однако же, единственным движением относительно окружающего воздуха должно быть вращение околоплечевого сочленения. Если же, кроме того, происходило бы и поступательное движение, то положение центра сопротивления, как это мы увидим впоследствии, значительно изменилось. Поэтому

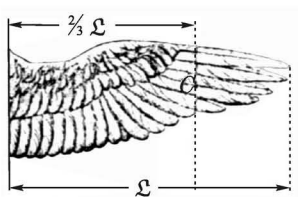


Рис. 9

мы можем принимать при расчете работы птицы, что центр находится на расстоянии  $\frac{2}{3}L$  лишь в том случае, когда она, при помощи ударов крыльями, держится неподвижно в окружающем воздухе.

В особенности же следует помнить, что точка приложения, или центр сопротивления воздуха, *не* будет той точкой вращающегося крыла, скорость которой, будучи сообщенной всему крылу, дала бы такое же сопротивление, как и при данном вращении крыла.

Знание положения центра имеет значение при определении длины рычага, на который действует сопротивление воздуха, что необходимо для расчета прочности крыла, с одной стороны, и для вычисления механической работы для соответственного движения крыльями — с другой.

Сопротивление воздуха получилось бы то же самое, если бы вращающееся крыло прямоугольного вида, т. е.

ровной ширины (рис. 4), было заменено другим, имеющим площадь  $\frac{16}{27}$  идвигающимся по нормали со скоростью точки  $C'$ ; для треугольного крыла (рис. 7) соответственная площадь была бы равна  $\frac{100}{216}$ <sup>7</sup>.

Для птичьего крыла, которое не представляет собой ни прямоугольник, ни треугольник, величина эта лежит между этими двумя числами, из которых одно более, а другое менее  $\frac{1}{2}$ , и, следовательно, может быть принята за  $\frac{1}{2}$ . Итак, вращающееся крыло производит такое же действие, какое произошло бы в том случае, если бы половина поверхности крыла двигалась по нормали со скоростью центра, лежащего на расстоянии  $\frac{2}{3}$  его длины, и вызываемое этим движением сопротивление воздуха было бы приложено к тому же самому плечу рычага, но, опять-таки, это справедливо лишь при условии, что летящее тело не имеет поступательного движения относительно окружающего его воздуха.

Эти случаи определения работы полета принадлежат, однако же, к наименее важным. Мы увидим далее, что техника полета должна обратить особое внимание на совсем другие моменты, имеющие гораздо большее значение.

## § 16. Увеличение сопротивления воздуха при механических ударах

Остается еще исследовать весьма важный для техники полета случай, когда сопротивление воздуха получается

---

<sup>7</sup>Прим. перев. В самом деле: для прямоугольного крыла имеем  $W = \frac{1}{3} \cdot 0,13\mathfrak{B}\mathfrak{L}c^2$ , или, называя площадь крыла через  $s$ ,  $W = \frac{1}{3} \cdot 0,13sc^2$ .

Если назовем через  $s'$  величину площади, которая, двигаясь со скоростью центра сопротивления  $c'$ , вызовет сопротивление воздуха  $W$ , то получим  $W = 0,13s'c'^2$ ; но  $c' = 0,75c$ , а следовательно,

$$W = 0,13s' \frac{9}{16} c^2 = \frac{0,13sc^2}{3}, \text{ тогда найдем } \frac{s'}{s} = \frac{16}{27}.$$

Точно также, делая подобные же обозначения, получим для треугольного крыла  $W = 0,13s'(0,6)^2c^2 = \frac{0,13(\mathfrak{B}\mathfrak{L}/2)c^2}{6} = \frac{0,13sc^2}{6}$ , а

отсюда получим  $\frac{s'}{s} = \frac{100}{6 \times 36} = \frac{100}{216}$ .

при ударе крыла, которое быстро переходит из состояния покоя к сравнительно большой скорости движения.

Для подобного вида движения приведенные соображения имеют мало значения, потому что при нем слишком мало времени для образования равномерных течений и колебательных движений частиц воздуха. Даже весь тот воздух, или часть его, которая сопровождает равномерно двигающуюся поверхность, будет вследствие своей инерции препятствовать движению.

Вообще, этот случай можно рассматривать таким образом, что весь воздух, окружающий поверхность с обеих сторон, оказывает сопротивление благодаря своей инерции; при внезапно наступившем движении впереди поверхности воздух будет сжат, а позади — разрежен; наиболее сильно это проявится возле самой поверхности, и лишь понемногу воздух перейдет к нормальной плотности; из обоих этих факторов и сложится давление, производимое воздухом на поверхность. И для этого случая при помощи чистой механики и математики можно было бы получить приблизительные числа, если бы не появилось новое затруднение, состоящее в том, что скорость подобной внезапно приведенной в движение поверхности в различные моменты различна, что происходит сначала вследствие инерции самой поверхности, а затем вследствие того, что изменения сопротивления воздуха, в свою очередь, влияют на изменение скорости движения, производимого при помощи какой-нибудь двигающей силы.

Не менее трудности представляется к тому, чтобы определить, при помощи опыта, получающееся на подобных движениях крыльев сопротивление воздуха для каждого отдельного мгновения, потому что здесь дело идет о пространствах, пройденных с неравномерной скоростью в течение дробных долей секунды.

Но одно обстоятельство, по крайней мере, вполне выясняется опытом. Можно в известных случаях определить среднюю величину сопротивления воздуха, происходящего при движении поверхности, подобном ударам крыльями у птицы, и хотя для каждой отдельной фазы движения и не может быть измерена соответственная величина сопротив-

ления воздуха, но общая подъемная сила, развиваемая при ударе крылом, может быть определена опытным путем.

В 1867 и 1868 годах нами были произведены опыты для определения величины силы сопротивления воздуха при ударах крыльями, и при этом оказалось, что при движении ударами происходит совершенно иное сопротивление воздуха, нежели при равномерном движении поверхности.

Если поверхность движется наподобие крыльев с известной средней скоростью, то происходящее при этом сопротивление воздуха может быть в 9 и даже в 25 раз более того, которое происходит при равномерном движении в воздухе той же самой поверхности и с той же самой скоростью.

Отсюда следует, что для получения при помощи крыльев того же самого сопротивления воздуха, что и при равномерном движении, средняя скорость движения крыла должна составлять лишь от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{5}$  доли соответственной равномерной скорости.

Если поэтому известное пространство, проходимое поверхностью с равномерной скоростью, распределить на отдельные удары крыльями, то в последнем случае прохождение этих путей может быть совершено в промежуток в 3 или в 5 раз больший для получения в среднем того же самого сопротивления воздуха; итак, поверхность может быть приводима в движение в 3 и 5 раз медленнее, если это движение происходит отдельными ударами.

Поэтому секундная работа для *преодоления* полученного таким образом сопротивления воздуха составит *от третьей до пятой доли* той работы, которую нужно было бы израсходовать для того, чтобы получить такое же сопротивление воздуха при помощи равномерного движения поверхности.

Таким образом, преодоление подъемной силы сопротивления воздуха при помощи ударов даст средство значительно уменьшить скорость работы, а следовательно, и всю работу, развиваемую при полете, по сравнению с той работой, которая получается из *расчетов* над равномерным движением поверхности крыльев.

Птицы, очевидно, хорошо пользуются ударными движениями при поднятии с земли в спокойном воздухе или



тогда, когда они желают оставаться на одном и том же месте в воздухе.

Многие движения птиц остались бы совершенно непонятными без этого свойства ударов крыльями сберегать рабочую силу при полете.

Способ полета птиц и других летающих животных, состоящий в приведении в колебательное движение крыльев, представляет именно то преимущество по сравнению с равномерным движением, что при этом органы летания в гораздо более полной степени утилизируют инерцию воздуха. Итак, мы видим, какими преимуществами мы будем пользоваться, основываясь на принципах полета птиц, и мы лишимся их, если не будем пользоваться этими принципами, или, например, будем применять вращающиеся винты, которые, несомненно, потребуют развития большей силы, нежели удары крыльями. Что выгода от ударов не составляет привилегии царства птиц и летающих животных вообще, мы выясним следующим примером.

Мы устроили аппарат (рис. 10), состоящий из двойной системы крыльев. Как более широкая средняя пара крыльев, так равно и более узкие передняя и задняя пары крыльев вращались около горизонтальной оси и были сопряжены таким образом, что когда одно крыло поднималось, то другое, находящееся с той же стороны, опускалось, и наоборот. Так как оба узкие крыла вместе имели ширину, равную со средним, то одновременно с каждой стороны получалась одинаковая летательная поверхность. При подъеме крыльев лопасти открывались и пропускали воздух беспрепятственно. Производя удары ногами поочередно, то одной, то другой, можно заставить одну половину поверхности крыльев опускаться, в то время как другая поднимается, испытывая небольшое сопротивление; изложенное видно из рисунка. Аппарат был подвешен на веревке, перекинутой через блок, и уравновешен противовесом.

Понятно, что при ударах крыльями вверх и вниз должно произойти поднятие, если противовес достаточно тяжел.

Это приспособление давало возможность измерить, какой величины может достигнуть подъемная сила при пользовании подобным аппаратом, прилагая к нему силу

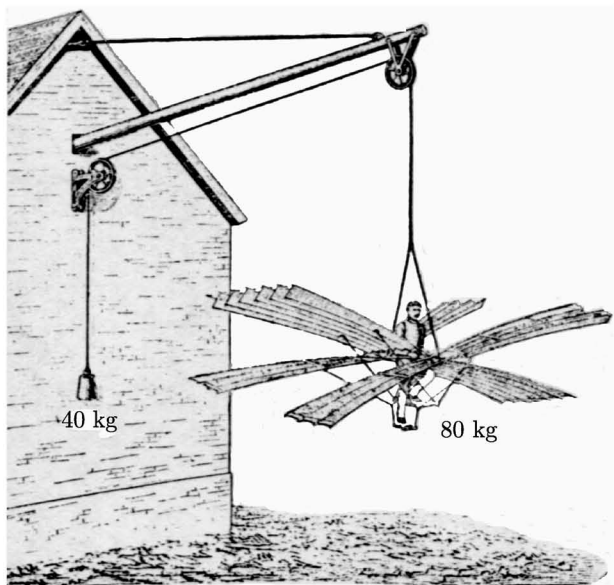


Рис. 10

человеческих мускулов, и как велико при этих ударах сопротивление воздуха.

После некоторого упражнения нам удалось поддерживать таким путем половину общего веса, так что при весе человека вместе с аппаратом в 80 kg противовеса в 40 kg было достаточно для того, чтобы аппарат поднимался. Напряжение при этом, однако же, было столь велико, что продержаться в воздухе можно было лишь в течение нескольких секунд. Величина поверхности крыльев каждой системы или одновременно действующей летательной поверхности была  $8 \text{ m}^2$ . Развиваемую при этом работу мы оценили в 70–75 kgm, потому что быстрое восхождение по лестнице требует подобной же работы и дает такие же результаты. Каждая нога надавливала с силой около 120 kg и проходила путь 0,3 m, а следовательно, при 2-х шагах производилась работа в секунду  $2 \cdot 0,3 \cdot 120 = 72 \text{ kgm}$ .

Центр сопротивления воздуха в этом аппарате проходил пространство около 0,75 m, и следовательно, в этой точке давление ноги производило силу  $\frac{0,3}{0,75} \times 120 = 48 \text{ kg}$ , из которых приблизительно 4 kg шли на поднятие крыльев с поднятыми лопастями, тогда как остальные 44 kg шли на надавливание крыльев книзу. Разница этих давлений  $44 - 4 = 40 \text{ kg}$ . давала собственно подъемную силу, которая и была измеряема непосредственно.

Центр сопротивления воздуха поверхности в  $8 \text{ m}^2$  описывал в  $\frac{1}{2}$  секунды путь около 0,75 m, и следовательно, средняя его скорость в секунду была 1,5 m. Значит — и поверхность крыльев в  $8 \text{ m}^2$  при ударах со средней скоростью в 1,5 m развила сопротивление воздуха в 40 kg и притом за вычетом сопротивления, вызываемого поднятием крыльев.

Если бы та же поверхность двигалась с равномерной скоростью 1,5 m, то получилось бы сопротивление воздуха, равное  $0,13 \times 8 \times 1,5^2 = 2,34 \text{ kg}$ , но, принимая во внимание, что, вследствие вращения крыла около оси, отдельные его точки имеют различные скорости, получим (крылья на концах были шире) сопротивление воздуха лишь  $1,6 \text{ kg}^8$ , что составляет всего одну 25-ю долю того сопротивления воздуха, которое оказалось в действительности при колебательном движении крыльев. Для того чтобы получить сопротивление воздуха в 40 kg при равномерном движении крыльев, скорость движения центра должна бы быть в 5 раз больше, или  $5 \times 1,5 = 7,5 \text{ m}$ . Для получения таким путем подъемной силы сопротивления воздуха в 40 kg понадобилась бы работа в 5 раз бóльшая, нежели при ударном движении крыльев.

Этот пример показывает, что работа, развиваемая птицей, поддерживающей себя в воздухе при помощи ударов крыльями без поступательно движения, значительно преувеличивается; в действительности она составляет едва лишь  $\frac{1}{5}$  долю той работы, которая выводится из общепринятой формулы сопротивления воздуха:  $W = 0,13 \cdot F \cdot c^2$ .

---

<sup>8</sup>Прим. перев. Если бы крыло было прямоугольное, то величину 2,34 нужно было бы помножить на  $\frac{16}{27}$  (Разд. 15), и получилось бы всего 1,4 kg, но в виду того, что поверхность крыльев к их концу расширялась, О. Лилиенталь вместо множителя  $\frac{16}{27} = 0,6$  взял множитель 0,7.

Что касается выполнения аппарата (рис. 10), то ребра крыльев были сделаны из ивовых прутьев, а остальные части остова — из тополевого дерева. Лопасты крыльев были сделаны из холста и для получения надлежащей прочности укреплены при помощи поперечин из ивовых прутьев толщиной 2–3 mm при расстоянии около 60 mm один от другого. Затем каждая лопасть была сплошь покрыта раствором коллодиума, закрывшим все поры холщевой ткани, которая таким образом превратилась в плотную кожу.

Таким путем мы получили весьма легкую, плотную и не боящуюся влажности поверхность.

При этом следует заметить, что сначала мы устроили для той же самой цели другой аппарат, который отличался от описанного тем, что имел одну крыльчатую систему с 2 крыльями; опускались они при помощи одновременного надавливания сразу обеими ногами, а поднимались руками, удалив предварительно ноги.

Действие этого прежде построенного аппарата оказалось значительно слабее, нежели аппарата рис. 10, потому что одновременное давление обеими ногами неестественно для человеческого организма, приспособленного для шагания каждой ногой поочередно.

Для того чтобы дать формулу, годную для каждого случая удара крыльями, произведенных опытов недостаточно, потому что на коэффициент подобной формулы оказывают несомненное влияние число ударов, величина амплитуды колебания и форма крыльев; есть даже основание предполагать, что коэффициент этот растет быстрее, нежели величина поверхности.

К этому выводу мы пришли на основании того, что опыты с меньшими поверхностями показали, что сила сопротивления воздуха благодаря ударам возрастает всего лишь в 9 раз.

Для этих опытов, где поверхность достигла величины около  $\frac{1}{10} \text{ m}^2$ , использовался прибор, показанный на рис. 11.

Из них без дальнейших объяснений видно, что груз  $G$  приводит в движение крыльчатые поверхности, заставляя вращаться блок  $R$  вместе с кривошипом  $K$ , причем  $P$  — оконечность рычагов  $A$  и  $B$  то поднимается, то опуска-

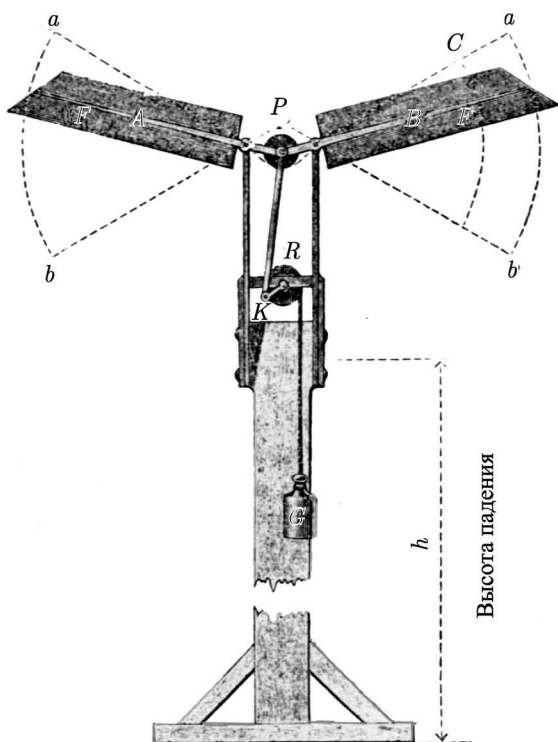


Рис. 11

ется. К точке  $P$  приложен противовес, уравнивающий рычаги  $A$  и  $B$  с их поверхностями  $F$  и  $F'$ . В то время как груз  $G$  опускался вниз, крылья делали ряд взмахов вверх и вниз с амплитудой  $ab$ , для чего требовалась некоторая вполне определенная механическая работа, которая в данном случае могла быть точно измерена; для этого нужно было вес  $G$  кг умножить на высоту падения  $h$  м, и работа выразится в произведении  $G \cdot h$  kgm.

Эта работа идет, однако же, не только на преодоление возникающего сопротивления воздуха, но частью также на

то, чтобы привести в колебательное движение массу всего механизма, равно как и на преодоление трений, незначительных в данном случае.

Работу, необходимую на приведение в движение массы и на преодоление силы трения, однако же, легко приблизительно выделить из всей работы  $Gh$ . Для этого стоит только оставить без изменения все усилия движения за исключением сопротивления воздуха. С этой целью мы сделали крылья  $F$  съемными и по удалении их прикрепляли к плечам  $A$  и  $B$  узкие полоски одинакового с крыльями  $F$  веса и имеющие центры тяжести в тех же точках, и, следовательно, с одинаковыми моментами инерции относительно оси вращения.

Когда, удалив таким образом наибольшую часть сопротивления воздуха, заставляли аппарат производить то же самое число ударов в одинаковые промежутки времени, то для этого требовалась меньшая двигательная сила  $g$ , которая легко находилась из опыта.

Отсюда следует, что для преодоления сопротивления воздуха служила приблизительно только сила  $G - g$  и  $(G - g)h$  давала работу, направленную на преодоление сопротивления воздуха.

Если же известен путь, проходимый сопротивлением воздуха, то легко найти и само сопротивление, для чего нужно только работу  $(G - g)h$  разделить на величину этого пути.

Так как из предыдущего известно, что центр сопротивления воздуха лежит по длине крыла на расстоянии  $\frac{3}{4}$  его длины, считая от оси вращения, то весьма нетрудно измерить, какой путь проходила эта точка в то время, когда груз опускался с высоты  $h$ . Пусть этот путь  $w$ , тогда сопротивление воздуха в среднем будет  $\frac{(G - g)h}{w}$ . Таким образом легко определить приблизительно среднюю величину сопротивления воздуха при ударных движениях крыльев.

Затем полученный результат следует сравнить с тем, который получится, если крылья проходят путь  $w$  в тот же промежуток времени и с равномерной скоростью при вращении в одном направлении. Такое сопротивление воздуха легко найдется из изложенного в отделе о сопротивлении

при вращательном движении. Это сравнение показывает нам, что сопротивление воздуха при ударном движении крыльев в 9 раз более сопротивления при равномерном движении.

Если, например, обе испытываемые поверхности имели каждая ширину 0,2 m, а длину 0,3 m, то на аппарате рис. 11 получалось  $G = 2,5$  kg и  $g = 0,5$  kg, причем оба раза величина падения в течение 6 секунд получалась 1,8 m. При этом крылья делали 25 двойных колебаний, и конечные точки их описывали каждый раз дугу  $ab$  в 0,32 m. Центр  $C$  описывал дугу  $\frac{3}{4} \cdot 0,32 \text{ m} = 0,24 \text{ m}$  и в 6 секунд  $2 \times 25 = 50$  раз, следовательно, в итоге путь  $0,24 \times 50 = 12 \text{ m}$ . Итак:

Путь, проходимый центром сопротивления, составляет 12 m.

Работа сопротивления будет равна  $(G - g)h = (2,5 - 0,5) \cdot 1,8 = 3,6 \text{ kgm}$ .

Величина же самого сопротивления воздуха будет равна  $3,6/12 = 0,3 \text{ kg}$ .

Если же, с другой стороны, крылья просто вращаются, причем центр их также описывает дугу в 12 m в течение 6 секунд, то получится другое сопротивление воздуха, которое также следует вычислить. Это сопротивление на основании предыдущего составит лишь  $\frac{1}{3}$  того сопротивления, которое получится при движении поверхности со скоростью конечной точки по направлению к нормали. Обе поверхности составят вместе  $2 \times 0,2 \times 0,3 = 0,12 \text{ m}^2$ , а за вычетом ширины плеч  $A$  и  $B - 0,11 \text{ m}^2$ <sup>9</sup>. Конечная точка обладает скоростью  $\frac{4}{3} \times 2 = \frac{8}{3} \text{ m}$ . Отсюда для сопротивления воздуха получим:

$$\frac{0,13 \times 0,11 \times \left(\frac{8}{3}\right)^2}{3} = 0,033 \text{ kg},$$

тогда как при ударном движении получим 0,3 kg; отношение будет равно  $\frac{0,3}{0,033} = 9$ .

<sup>9</sup>Прим. перев. Вычесть ширину плеч  $A$  и  $B$  нужно затем, чтобы сравнить с предыдущим результатом, в котором она также вычтена, так как она вошла в выражение  $g$ .

При последнем опыте предполагалось, что поверхность  $F$  сплошная, и что, следовательно, получалось одинаковое сопротивление как при ее поднимании, так и при опускании. Если же употребить в дело поверхности, раскрывающиеся при поднятии наподобие жалюзи, то сопротивление, соответствующее поднятию, будет меньше и все сопротивление поверхности распределится неравномерно между поднятием и опусканием. И в этом случае обнаруживается влияние ударного движения, причем для небольших поверхностей около  $1/10 \text{ m}^2$  сопротивление возрастает почти в 9 раз.

Хотя таким путем и вычислено сопротивление воздуха при ударах крыльями, но отсюда нельзя непосредственно сделать заключение о сопротивлении воздуха при выполняемых птицей ударах крыльями, потому что едва ли будет справедливо допустить, что фазы движения крыльев птицы, происходящие под влиянием силы мускулов, произойдут совершенно так же, как у крыльев вышеупомянутого аппарата, где двигательной силой является тяжесть. Во всяком случае, сущность явления состоит в том, что при ударе крыльями получается в высшей степени значительное сбережение сил благодаря увеличению силы сопротивления воздуха и происходящему вследствие этого уменьшению работы, так как на ее производство требуется значительно меньшая скорость движения крыльев<sup>10</sup>.

Птицы сами, однако же, дают нам указание на то, что польза от ударного движения крыльями значительно более той, которой можно достигнуть при помощи вышеописанного аппарата.

Для подтверждения этого опять приведем пример.

---

<sup>10</sup>Прим. перев. Поясним изложенное: пусть  $W$  сопротивление равномерно двигающейся поверхности будет равно  $\alpha T v^2$ ; для поверхности, двигающейся колебательно, это сопротивление выразится формулой такого же вида, но так как коэффициент  $\alpha$  будет заменен другим  $\alpha'$ , то для получения одинакового сопротивления  $W$  поверхность должна двигаться с меньшей скоростью  $v'$ , и, следовательно, имеем  $\alpha T v^2 = \alpha' T' v'^2 = W$ . Работа же в секунду равняется силе, помноженной на скорость, и, следовательно, для первого случая получаем  $T = W/v$ , а для второго —

$$T' = W/v', \text{ а отсюда } \frac{T'}{T} = \frac{v'}{v}.$$



Голубь, весящий 0,35 kg, имеет в сложности поверхность крыльев в  $0,06 \text{ m}^2$  и делает в секунду 6 колебаний вверх и вниз, причем если голубь летит при безветрии и без заметного поступания, то путь, описываемый центром сопротивления воздуха, достигает величины почти 0,25 m. Так как собственно на поднятие голубь употребляет лишь половину времени, то во время удара крыльями вниз он должен вызвать сопротивление воздуха, равное двойному его весу, т. е. 0,7 kg.

Удар крыла вниз продолжается  $\frac{1}{12}$  секунды, и центр проходит в это время 0,25 m, а следовательно, средняя скорость его будет равна  $12 \times 0,25 = 3 \text{ m}$ .

При равномерном движении со скоростью центра, причем, согласно 15-ому разделу, в расчет нужно принять лишь половину величины летательной поверхности, крылья голубя должны были дать подъемную силу сопротивления воздуха:

$$L = 0,13 \cdot \frac{0,06}{2} \cdot 3^2 = 0,035 \text{ kg},$$

тогда как на самом деле имеет место сила в 0,7 kg, так как в действительности голуби летят при указанных условиях. Таким образом, благодаря ударному движению, сопротивление воздуха возрастает с 0,035 на 0,7, т. е. в 20 раз. Если выразить это формулой, то мы удалимся далеко от истины, если примем, что *вся поверхность* крыльев при движении центра, находящегося на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины крыла, со скоростью  $v$  даст сопротивление воздуха

$$L = 10 \cdot 0,13 \cdot F \cdot v^2.$$

Эта формула соответствует 20-кратному увеличению сопротивления воздуха, так как, согласно разделу 15, следовало бы принять в расчет лишь  $\frac{F}{2}$ .

Как значительно возрастает сопротивление воздуха при ударах, можно заметить уже на обыкновенном веере, сравнивая получаемый эффект в том случае, когда мы будем быстро бить им взад и вперед, с тем, когда будем двигать с равномерной скоростью в одном направлении.

Еще явственнее обнаруживается разница, если будем приводить рукой в движение этими различными способами легкие поверхности большой величины. Здесь уже не так легко обмануть инерцию массы собственной руки, и получаемые результаты могут привести в изумление. Даже при незначительных скоростях воздух чувствуется так явственно, как это, вообще говоря, бывает только при буре.

## **§ 17. Сбережение работы при увеличении скорости поднятия крыльев**

Способ распределения времени на поднятие и опускание крыльев не остается без влияния на величину работы, развиваемой птицей при полете.

Это распределение времени влияет на величину сопротивления воздуха, необходимого для подъема, следовательно, и на работу сопротивления, а таким образом, и на скорость движения крыльев. Обе величины будут тем меньше, чем более из данного времени пойдет на опускание крыльев, т. е. чем скорее произойдет их поднятие. Но так как, в главных чертах, приходится принимать для расчета работы лишь время опускания крыльев, то, с другой стороны, чем меньшая часть всего времени полета идет на опускной удар, тем более возрастает пауза в работе.

Наименьшая работа сопротивления и наименьшая абсолютная скорость крыльев получаются тогда, когда на поднятие крыльев времени вовсе не потребуется. Тогда подъемная сила сопротивления воздуха должна равняться лишь весу птицы  $G$ , но он должен быть преодолеваем в течение всего полета, и скорость центра сопротивления воздуха войдет целиком в расчет работы.

Называя эту скорость через  $v$ , получим работу  $Gv$ , которую в дальнейшем изложении будем обозначать буквою  $\mathfrak{A}$ .

Если поднятие и опускание крыльев происходит с одинаковыми скоростями, то крылья должны произвести сопротивление воздуха, равное  $2G$ , но зато оно действует лишь в продолжение половины времени полета, вследствие чего оба эти множителя, определяющие работу, взаимно

сокращаются. Для того чтобы произвести сопротивление воздуха, равное  $2G$ , скорость крыльев должна возрасти в отношении  $\sqrt{2}$ , что увеличит работу до  $\sqrt{2} \mathfrak{A} = 1,41 \mathfrak{A}$ .

Если бы птицы производили удар крыльями вниз вдвое скорее, нежели вверх, то из всего времени двойного удара  $\frac{1}{3}$  пошла бы на удар вниз и  $\frac{2}{3}$  — на удар вверх.

При ударе вниз происходит сила, поднимающая тело птицы и равная сопротивлению воздуха  $L$ , уменьшенному на вес птицы  $G$ , т. е.  $W - G$ , и эта сила действует лишь в продолжение того времени, в течение которого действует вес  $G$  при подъеме.

Итак, тело птицы всегда находится под влиянием двух действующих сил, направленных в противоположные стороны и последовательно сменяющих друг друга; из них сила, давящая вниз, действует вдвое дольше, нежели поднимающая.

Если птица должна остаться на одном и том же уровне, то ее телу постоянно приходится колебаться около одной точки, то поднимаясь, то опускаясь с одной и той же скоростью, в момент прохождения этой точки. Действие сил как бы прекращается, сумма перемещений становится равной нулю, если силы будут в состоянии уничтожить скорости, направленные то вверх, то вниз, и таким образом взаимно уничтожить друг друга. Но это может случиться лишь тогда, когда силы вызывают ускорения, обратно пропорциональные временам их действия, или когда величины самих сил обратно пропорциональны временам.

В этом случае подъемная сила  $L - G$ , действующая в продолжение короткого времени опускания, должна быть вдвое больше веса птицы  $G$ , который только один и действует на нее во время подъема крыльев. Так как отсюда  $L - G = 2G$ , то получим  $L = 3G$ .

Поэтому скорость опускающихся крыльев должна быть в  $\sqrt{3}$  раз больше, нежели при  $L = G$ , как мы получили для случая, когда крылья опускаются в продолжение всего времени полета. Обуславливающее эту работу движение происходит лишь в течение  $\frac{1}{3}$  всего времени, откуда работа  $\mathfrak{A}$  должна быть помножена на  $3 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{1}{3}$ , что даст для всей работы выражение  $1,73 \mathfrak{A}$ .

Отсюда видно, что быстрое опускание и медленное поднимание крыльев неизбежно сопряжено с потерей работы, причем крылья оказываются нагруженными большей силой, вследствие чего им совершенно бесполезно должна быть придана излишняя прочность.

Из только что изложенного легко вывести общий закон влияния распределения времени между подъемом и опусканием крыльев на величину работы полета. Если на опускание идет  $\frac{1}{n}$  всего времени полета, то работа полета будет равна

$$A = n\sqrt{n} \frac{1}{n} \mathfrak{A} = \sqrt{n} \mathfrak{A}.$$

Отсюда для всех величин  $\frac{1}{n}$  можно вычислить соотношение между работами.

На рис. 12 показаны множители при  $\mathfrak{A}$  для различных значений  $\frac{1}{n}$  и очертание кривой, наглядно изображающей отношение между соответственными работами.

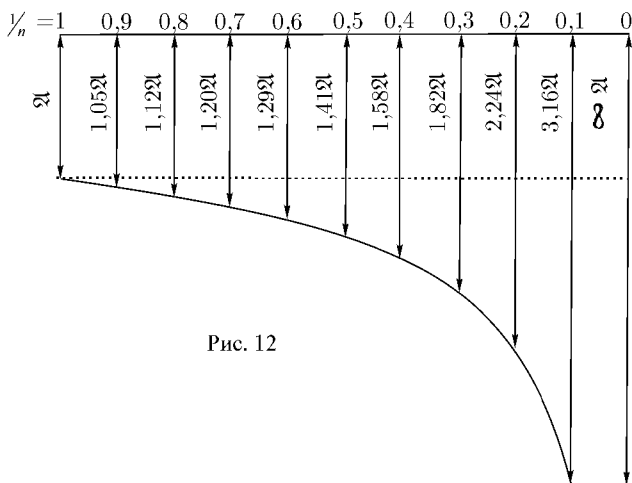


Рис. 12

Мы видим, что полученное отношение тем благоприятнее, чем сравнительно медленнее происходит опускание крыльев или чем быстрее происходит их поднятие.

При определении полной работы, необходимой для полета, входят еще другие факторы, которые следует принять

во внимание для решения вопроса о влиянии распределения времени между поднятием и опусканием крыльев на действительную работу при полете.

Прежде всего следует заметить, что поднимание крыльев будет наиболее выгодным, т. е. сопряжено с наименьшим сопротивлением лишь тогда, когда скорость поднятия не будет слишком велика. Далее понятно, что работа, идущая на преодоление инерции крыльев, становится наименьшей тогда, когда поднимание и опускание происходят с одинаковой скоростью.

Итак, оба эти фактора увеличивают необходимое для полета напряжение, если подъем крыльев происходит быстрее, нежели опускание.

Тем не менее, если при полете желают достигнуть minimum'a работы, то следует больше всего заботиться о главном факторе, влияющем на нее, именно о напряжении, вызываемом сопротивлением при ударе крылом вниз, и поэтому продолжительность опускания крыла должна быть хоть немного больше половины всего времени полета.

Наилучшим образом удовлетворяющее этим требованиям значение для  $\frac{1}{n}$  будет около 0,6. Отношение между временем поднятия и опускания будет тогда  $\frac{2}{3}$ . Работа 1,41  $\mathcal{A}$ , происходящая при ударах вверх и вниз с одинаковыми скоростями, для этого случая уменьшится и будет равна 1,29  $\mathcal{A}$ .

Хотя это сбережение работы и не особенно велико, но все же можно заметить, что при полете многих птиц крылья поднимаются быстрее, нежели опускаются.

Все большие птицы, производящие медленный удар крыльями, представляют эту особенность. В этом отношении наиболее выделяется ворона, при полете которой иногда легко заметить весьма значительное ускорение поднятия крыльев, сменяемое медленным их опусканием.

## § 18. Работа при полете на месте

До тех пор пока полет состоит только из одних ударов вверх и вниз без всякого поступания относительно воздуха, такой полет для краткости мы назовем «полетом на месте»,

приведенный числовой материал дает возможность выяснить величину работы, при нем развиваемой.

Напряжением, приводящим в движение массы крыльев, можно пренебречь, потому что концы быстро двигающихся крыльев как раз состоят лишь из одних перьев. Точно так же можно пренебречь тем сопротивлением воздуха, которое происходит при поднимании крыльев.

При выгодном распределении удара крыльев, т. е. когда они двигаются вверх несколько скорее, чем вниз, можно на основании предыдущего раздела для полета на месте принять работу  $A = 1,29 \mathfrak{A}$ , где  $\mathfrak{A} = Gv$ , а  $v$  определится из уравнения  $L = 10 \cdot 0,13 \cdot F \cdot v^2$ , данного в разделе 16 и в настоящем случае превращающегося в  $G = 10 \cdot 0,13 \cdot F \cdot v^2$ .

Отсюда для колебательного движения крыльев получим

$$v = 0,87 \cdot \sqrt{\frac{G}{F}}.$$

Подставляя это выражение, получим  $\mathfrak{A} = G \cdot 0,87 \cdot \sqrt{\frac{G}{F}}$  и, наконец,  $A = 1,29 \cdot G \cdot 0,87 \cdot \sqrt{\frac{G}{F}} = 1,1 \cdot G \cdot \sqrt{\frac{G}{F}}$ .

$\frac{G}{F}$  для отдельных видов птиц составляет приблизительно одинаковую постоянную величину<sup>11</sup>. Например, для многих больших птиц  $\frac{G}{F}$  около 9, т. е. птица, весящая 9 kg (австралийский журавль), имеет поверхность крыльев около 1 m<sup>2</sup>. В таком случае  $\sqrt{\frac{G}{F}} = 3$  и  $A = 1,1 \cdot G \cdot 3$  или, наконец,

$$A = 3,3G.$$

<sup>11</sup>Прим. перев. На основании многих исследований можно допустить существование следующего закона:

$$\frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{G}} = c,$$

где  $c$  меняется в пределах от 0,18 (шмель) до 0,72 (бабочка-капустница); чем  $G$  больше, тем, вообще говоря,  $c$  тоже больше.

Для маленьких птиц (воробей и т. п.)  $\frac{G}{F}$  почти 4 и  $\sqrt{\frac{G}{F}} = 2$ ; отсюда  $A = 2, 2G$ .

Мимоходом можно заметить, что соответственно этим формулам полет на месте для маленьких птиц легче, нежели для больших, потому что маленькие птицы имеют бóльшие крылья по отношению к их весу.

Для большинства больших птиц полет на месте даже вовсе невозможен и при безветрии взлет весьма затруднен, поэтому они вынуждены перед взлетом разбежаться или подпрыгнуть.

На птицах, которые при безветрии остаются действительно на одном месте в воздухе, можно заметить, что их тела принимают весьма наклонное к заду положение и что удары крыльями происходят не вверх и вниз, а частью вперед и назад. Особенно ясно можно это заметить на голубях; их крылья при этом делают столь крутые повороты, что кажется, будто бы подъем крыла или, вернее, удар назад содействует поднятию.

Подобное выполнение ударов крыльями становится необходимым для того, чтобы уничтожить присущую крыльям силу поступания. Весьма вероятно, что подъемная сила при этом получается с большей выгодой и что для маленьких птиц, прибегающих к этому приему полета на месте, формула, определяющая величину работы, может быть округлена в  $A = 1, 5G$ . Поэтому работа птицы, летающей на месте, выраженная в килограмметрах, будет по меньшей мере в 1,5 раз больше веса птицы, выраженного в килограммах.

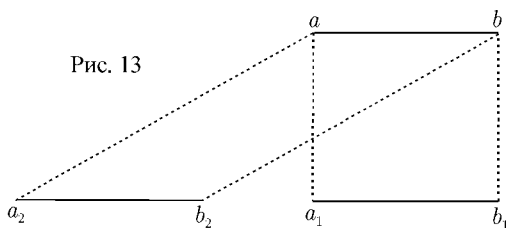
Из птиц, в особенности любящих полет на месте, можно указать жаворонка. При этом он чаще всего поднимается весьма высоко кверху в воздухе, где обыкновенно встречается достаточно сильный ветер, так что здесь вряд ли может идти речь о действительном полете на месте по отношению к окружающему воздуху; поэтому можно думать, что жаворонки при этом виде полета расходует гораздо меньше той работы, которая получается из вышеприведенных формул.

Если бы и человек сумел воспользоваться всеми выгодами подобного полета, то все же границей наименьшей

мыслимой работы при полете на месте была бы несколько больше, нежели 1,5 лошадиной силы, потому что для получения множителя  $\frac{G}{F} = 4$  аппарат при летательной поверхности в  $20 \text{ m}^2$  имел бы в сложности вес более  $80 \text{ kg}$ , и, следовательно, потребовалась бы работа в секунду более  $120 \text{ kgm}$ . Преодолеть подобную работу при помощи физической силы человека даже в течение короткого времени, конечно, нечего и думать. Но полет на месте для человека представляет весьма мало интереса, и от него очень легко можно отказаться, если взамен этого можно было бы летать с большой поступательной скоростью.

### § 19. Сопротивление воздуха при облическом движении плоских поверхностей

Если птица летит вперед, то ее крылья производят не вертикальные движения, а напротив, удары их складываются с поступательным движением и крылья описывают в воздухе наклонные пути, причем сами летательные поверхности встречают воздух в наклонном направлении.



Поперечный разрез крыла  $ab$  на рис. 13, который при простом ударе вниз пришел бы в положение  $a_1b_1$ , при одновременном происходящем поступательном движении придет, примерно, в  $a_2b_2$ . Само собой понятно, что условия сопротивления воздуха через это изменяются, и ясно, что это не может не влиять на работу полета.

Чтобы судить об этом, нужно знать сопротивление воздуха при облическом движении плоских поверхностей, а



так как поступание и составляет главную цель полета, то получающиеся при этом явления сопротивления воздуха имеют в особенности большое значение для техники полета.

Технические справочные книжки дают для подобного вида сопротивления воздуха такие формулы, которые по большей части выведены из чисто теоретических соображений или основаны на предположениях, которые не могут быть выполнены в действительности.

Как уже было замечено ранее, этот пробел не имел существенного значения для обыкновенных технических потребностей, для которых верность и неверность этих формул не создавали никаких затруднений.

Для практики полета, совершенно наоборот, пригодны лишь такие данные относительно сопротивления воздуха, которые, будучи выведенными из опытов, дают возможность воспроизвести действительные крылья, принимая во внимание и возможные ошибки вычислений. Мы не можем устроить бесконечно тонкие и вполне гладкие крылья, как этого требует теория, равно как и не в состоянии сделать это и сама природа, и потому при подобных опытах должна неизбежно появиться значительная разница между полученными явлениями сопротивления воздуха и теми, которые предусматриваются теорией. То же самое следует сказать и о направлении сопротивления воздуха по отношению к движущейся поверхности: на основании теоретических соображений это направление перпендикулярно к поверхности, в действительности же оно, в особенности при острых углах, значительно разнится от нормального даже в том случае, когда поверхность сделана настолько тонкой и гладкой, насколько это возможно.

Это несоответствие между теоретическими соображениями и результатами, получающимися на практике, привели к постыдной неудаче многие попытки, основанные на том, что *поступательный полет может дать большое сбережение работы при полете.*

И мы также, основываясь на подобных предположениях, построили целый ряд аппаратов с целью воспользоваться предполагаемыми от этого выгодами.

Убедившись, как нам казалось, в том, что подъемная сила сопротивления воздуха может быть увеличена без всякой затраты работы благодаря лишь скорому поступательному движению, через что, в свою очередь, может быть сэкономлена работа на опускание крыльев, мы построили в 1871–73 гг. целый ряд приспособлений, чтобы окончательно выяснить себе этот вопрос.

Крылья этих аппаратов приводились в движение частью силой пружин, частью паром. Нам удалось также заставить эти модели летать свободным полетом с различными поступательными скоростями; нам не удавалось таким образом только то, чего мы собственно и добивались. Мы не были в состоянии показать, что получается экономия в работе при поступательном движении, и хотя эти опыты обогатили нас некоторыми знаниями, но, в конце концов, мы все же должны были признать результаты отрицательными, потому что эти опыты *не* обнаружили уменьшения работы полета при поступательном движении.

Мы искали причину этому и нашли ее в том, что мы исходили из неверной точки зрения и вводили в расчет такие сопротивления воздуха, которые в действительности не существуют. Названные неблагоприятные результаты заставили нас провести ряд опытов над облическим движением плоских поверхностей, и благодаря им мы получили разъяснение: почему не происходили ожидаемые явления сопротивления воздуха.

Рис. 14 показывает применяемый нами для этой цели аппарат; на нем можно было определить не только величину сопротивления вращающейся поверхности, но также и ее направление.

На вертикальной вращающейся оси этого аппарата был укреплен горизонтальный стержень с расположенными по его концам двумя испытуемыми поверхностями. Поверхности можно было устанавливать под каким угодно углом наклона. Вращение производилось при помощи двух грузов, соединенных шнуром, обхватывающим блок, укрепленный на оси, и сходящим с него с двух противоположных сторон. Это двухстороннее приложение силы было принято для того, чтобы, по возможности, уменьшить боковое давление на стержень. Относя действие груза к

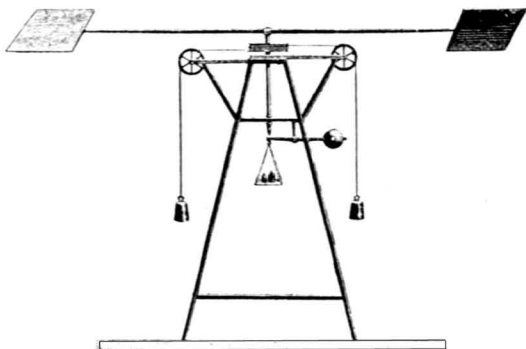


Рис. 14

центрам сопротивления поверхностей, т. е. определяя плечи рычагов, можно было легко получить горизонтальные составляющие сопротивления воздуха; само собой разумеется, что предварительно было вычтено сопротивление движению прибора, не нагруженного поверхностями.

Для того чтобы иметь возможность измерить вертикальную составляющую сопротивления воздуха, ось прибора со всеми укрепленными на нем частями уравновешивалась на рычаге с помощью противовеса. Вращающийся стержень устанавливался на свободном конце этого рычага и мог несколько подниматься или опускаться и таким образом обнаруживать присутствие вертикальной силы. Получающаяся при испытуемых поверхностях вертикальная (подъемная) составляющая сопротивления измерялась непосредственно нагрузкой точки опоры стержня до тех пор, пока не прекращалось поднятие, как это и показано на рисунке.

Таким путем для поверхности  $ab$  (рис. 15), поставленной наклонно идвигающейся в горизонтальном направлении, мы получали как горизонтальную составляющую сопротивления воздуха  $Oe$ , так и вертикальную  $Of$ ; сложенные вместе, они давали равнодействующую  $Og$ , которая представляла полное сопротивление воздуха как по величине, так и по направлению.

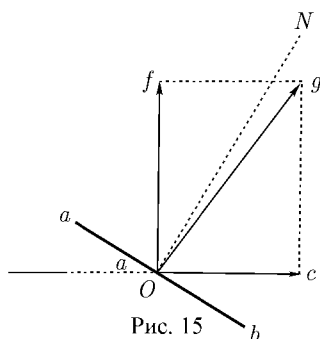


Рис. 15

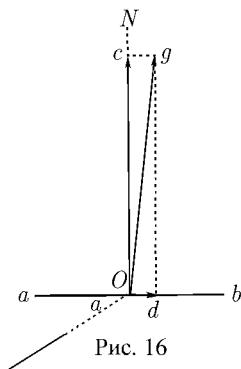


Рис. 16

Повернем влево всю систему рис. 15 на угол  $\alpha$ , тогда получим рис. 16, где  $ON$  — нормаль к поверхности будет приведена в вертикальное положение.

Если разложим сопротивление воздуха  $Og$  на вертикальную и горизонтальную составляющие, то для поверхности, распростертой горизонтально и двигающейся облически, подъемная составляющая сопротивления воздуха представится силой  $Oc$ , между тем как сила  $Od$  будет оказывать задерживающее действие на поверхность в горизонтальном направлении. На основании этого можно назвать  $Oc$  *поднимающей*, а  $Od$  *задерживающей составляющими*.

Результаты этих измерений представлены на черт. I<sup>12</sup>, причем на рис. 1 изображены сопротивления воздуха при постоянном направлении движения и при переменном угле наклона, тогда как на рис. 2 эти сопротивления изображены такими, какими они получаются, если поверхности будут двигаться параллельно самим себе по различным направлениям с постоянно одинаковой абсолютной скоростью.

Если плоская поверхность  $ab$  (черт. I рис. 1) движется по направлению стрелки и притом не только так, как это нарисовано, но под различными углами наклона от  $\alpha = 0^\circ$

<sup>12</sup>Все ссылки с обозначением номера чертежа относятся к чертежам, помещенным на отдельных страницах в конце статьи.

до  $\alpha = 90^\circ$ , лишь постоянно с одинаковою скоростью, то получатся сопротивления воздуха  $c 0^\circ$ ,  $c 3^\circ$ ,  $c 6^\circ$ ,  $c 90^\circ$  соответствующие углам наклона  $0^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $90^\circ$ . Эти линии сил дают отношения сопротивлений воздуха к нормальному сопротивлению воздуха  $c 90^\circ$ , а последнее может быть вычислено по формуле  $L = 0,13 \cdot F \cdot c^2$ . Линии сил на рис. 1 сохранили также соответствующее им направление; конечные точки их соединены между собой кривой.

Так как из рис. 1 нельзя видеть, как силы сопротивления направляются относительно самих поверхностей, то на рис. 2 эти силы изображены так, как они представятся, если горизонтальная поверхность  $ab$  будет двигаться с постоянной абсолютной скоростью по различным направлениям  $3^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $9^\circ$  и т. д. Здесь уже вполне ясно видно положение равнодействующей давления по отношению к нормали к поверхности.

Рис. 17 →

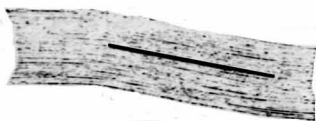


Рис. 18 →

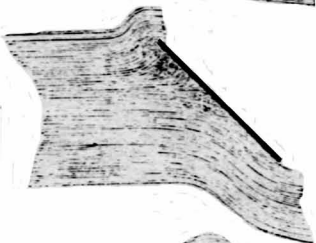
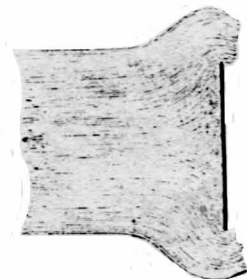


Рис. 19 →



Из нее видно, что составляющая сопротивления воздуха в направлении самой поверхности почти одинакова для начальных углов до  $37^\circ$  включительно. Эта составляющая представляет собой, кроме действия сопротивления воздуха на переднюю грань поверхности, главным образом, трение воздуха о поверхность, и это трение сохраняет почти одинаковую величину до тех пор, пока воздух стекает в одну сторону, как это происходит при остром угле на рис. 17. При более тупом угле (рис. 18) часть воздуха, встречая поверхность, обтекает ее в передней грани, уменьшая этим трение, и наконец оно будет вполне уничтожено (рис. 19) при нормальном движении, потому что тогда воздух стекает во все стороны с одинаковой скоростью и алгебраическая сумма трений будет равна нулю.

Трение не изменяет существенно пропорциональности сопротивления квадрату скорости.

Для сравнения абсолютных величин сопротивления воздуха наклонным поверхностям с сопротивлением поверхностям, ударяемым воздухом по нормали, может служить черт. VII. На нем сопротивления наклонным плоским поверхностям при одинаковых абсолютных скоростях нанесены для каждого угла наклона отдельно, а именно нижней сплошной линией (обозначенной на чертеже «плоская поверхность»), причем направление давления не обозначено. Отклонение от синусоиды, принимаемой обыкновенно за меру сопротивления, в особенности заметно при маленьких углах. Не меньшее отклонение дадут и составляющие, направленные по нормали к поверхности, потому что они будут лишь немного менее этих равнодействующих.

Понятно, что для приложения к делу следует обратить особенное внимание на отклонения направлений сопротивлений от нормалей, потому что именно благодаря им выгоды поступательного движения, в смысле сбережения работы при плоских крыльях, по большей части вовсе не уничтожаются.

Для дела будет неудобно выразить формулами полученные величины сопротивления воздуха при наклонном ударе, так как при этом придется делать грубые допущения, которые могут значительно повлиять на точность расчетов.

Поэтому для получения сопротивления воздуха в каждом отдельном случае следует пользоваться только одной диаграммой, для чего сопротивления воздуха нанесены на ней с возможной точностью и в более крупном масштабе.

Начерченные диаграммы дают средние величины чисел, полученных из многих рядов опытов.

Эти опыты были начаты в 1866 году и с более или менее продолжительными перерывами продолжались до 1889 года. Для суждения об их применимости к делу следует заметить, что многие аппараты, на которых проводились опыты, как это было описано, имели различную величину. Диаметры кругов, описываемых испытываемыми поверхностями, изменялись от 2 до 7 м. Для опытов всегда употреблялась пара одинаковых поверхностей, расположенных одна против другой, и квадратное их содержание изменялось от 0,1 до 0,5 м<sup>2</sup>. Они изготавливались из деревянных рам, обтянутых бумагой из плотного и тонкого картона, из сплошного дерева или, наконец, из материи. Наибольший поперечный разрез составлял  $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{80}$  величины самой поверхности. Края были притупляемы, закругляемы и заостряемы, что однако же оказывало весьма мало влияния вследствие незначительной толщины испытываемых тел.

Развиваемые при опытах скорости изменялись от 1 до 12 м в секунду.

При всех этих опытах оказывалось, что сопротивление воздуха растет пропорционально квадрату скорости.

## **§ 20. Работа при поступательном полете с плоскими крыльями**

Если бы сопротивление воздуха было направлено по нормали к плоским двигающимся наклонно вниз крыльям, то, благодаря быстрому поступательному полету, получилось бы значительное сбережение в работе полета. Для работы следует принимать в расчет лишь маленькую вертикальную составляющую  $c^{13}$  скорости (рис. 20), тогда как

---

<sup>13</sup>Прим. перев. В механике принимается, что работа силы равняется произведению из силы на проекцию пройденного пути по направлению

подъемная сила сопротивления воздуха обуславливается большой абсолютной скоростью крыльев  $v$ .

Приблизительно, для сопротивления воздуха получим

$$G = 0,13 \cdot F \cdot v^2 \cdot \sin \alpha \quad \text{и} \quad v = \sqrt{\frac{G}{F \cdot 0,13 \cdot \sin \alpha}},$$

причем работа  $Gc = Gv \sin \alpha$  или

$$Gc = G \sqrt{\frac{G}{F \cdot 0,13}} \sqrt{\sin \alpha}.$$

Чем менее  $\alpha$  или, что все равно, чем быстрее происходит полет, тем менее будет и  $\sqrt{\sin \alpha}$ , а также тем менее будет и затрачиваемая работа; для того чтобы по желанию уменьшить работу полета, стоило бы только лететь достаточно скоро.

В действительности же это положение не подтверждается, потому что вся имеющаяся начальная скорость птицы была бы скоро израсходована *задерживающей* составляющей сопротивления воздуха поверхности крыльев, даже вовсе не принимая во внимание сопротивления движению тела птицы.

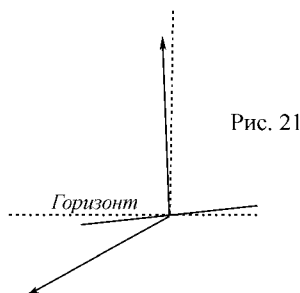
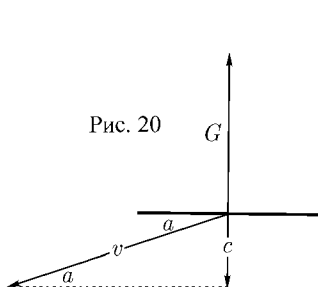
Для того же чтобы сохранить величину поступательной скорости птицы, можно было бы, например, производить поднятие крыльев наклонно, как это мы делали при нашем опыте, но при этом непременно происходит сила, придавливающая вниз, и действие ее должно быть вознаграждено усилением удара крыльев при их опускании.

Дело однако можно представить себе и иначе, а именно, допустить, что крыло при ударе вниз направлено не горизонтально, а, как показано на рис. 21, наклонно вперед и притом так, что средняя сила сопротивления воздуха направлена как раз вертикально или даже немного вперед, для того чтобы она могла преодолеть вместе с тем и сопротивление тела птицы. Летательный аппарат, действующий

---

силы, а так как в данном случае сила вертикальна, то и нужно брать вертикальную поверхность проходимого пути.





таким образом, мог бы дать уравновешенное движение и поддерживать без изменения поступательную скорость.

Влияние подобного поступательного полета при плоских крыльях на величину работы может быть теперь определено нижеследующим образом.

Прежде всего нужно найти отношение работы при поступательном движении к той работе, которая требуется для полета на месте и которую мы обозначим через  $A$ .

Для упрощения задачи допустим, что крылья во всех своих точках имеют одинаковые скорости, т. е. что крылья во всех положениях остаются параллельны сами себе и что сопротивление воздуха распределяется равномерно по всей их поверхности.

На рис. 22 поперечный разрез крыла наклонен к горизонту так, чтобы поверхность, двигаясь, например, под углом  $23^\circ$  к абсолютной скорости  $OD$ , давала вертикально направленное сопротивление воздуха  $OC$ . Наклон поверхности относительно горизонта будет при этом, на основании диаграммы черт. I рис. 1, около  $6^\circ$ .

Для того же чтобы сопротивление воздуха имело определенную величину, например, равную весу птицы  $G$ , абсолютная скорость должна быть более той, которая получилась бы при движении поверхностей крыльев по нормали, если при этом должно было бы произойти такое же сопротивление.

Из черт. VII видно, что для угла в  $23^\circ$  сопротивления воздуха будет 0,45 сопротивления при  $90^\circ$ . Отсюда следует, что абсолютная скорость при наклоне в  $23^\circ$  должна быть

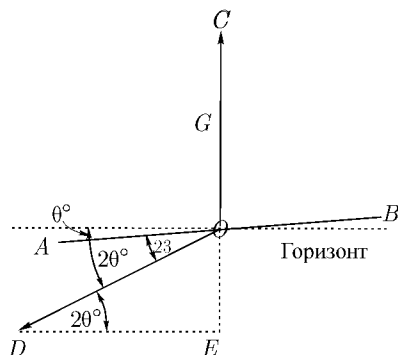


Рис. 22

более, нежели при  $90^\circ$ , в  $\frac{1}{\sqrt{0,45}}$  раз. Пусть такова и будет скорость  $OD$ . Для определения работы следует принять в расчет лишь скорость  $OE$ , а последняя равна  $OD \times \sin 29^\circ$ ; отсюда

$$OE = \frac{1}{\sqrt{0,45}} \times \sin 29^\circ = 0,72,$$

т. е.  $OE$  составляет 0,72 от той скорости, с которой поверхность должна двигаться по нормали для развития сопротивления воздуха  $G$ .

В этом случае развиваемая работа будет равна  $0,72A^{14}$ , и, следовательно, благодаря поступанию сэкономлено было бы около  $\frac{1}{4}$  работы по сравнению с полетом на месте. При этом скорость полета должна была бы быть приблизительно вдвое больше скорости опускания крыльев, потому что  $ED$  почти вдвое больше  $OE$ .

Часть приобретенной выгоды, однако же, теряется вследствие того, что при этом должно быть еще преодолено сопротивление тела птицы по направлению движения.

Выбранный пример представляет наивыгоднейший случай из всех, которые могут произойти, потому что если

<sup>14</sup>Прим. перев. Нужно помнить, что, как это было показано ранее, при одной и той же развиваемой подъемной силе работа пропорциональна скорости колебания крыльев.

крылья двигаются под каким-либо другим наклоном, т. е. медленнее или скорее, то получится результат еще менее благоприятный по отношению к развиваемой работе. Отношения к работе  $A$  для некоторых углов даны на черт. I рис. 2. Наименьшая величина для  $23^\circ$  подчеркнута.

Отсюда видно, что поступательный полет при плоских крыльях дает самую ничтожную выгоду по отношению к сбережению работы, так что для полета человека вычисленная работа в 1,5 НР может быть заменена величиной все же большей, чем 1 НР, и то как крайний предел, которого можно достичь на основании теоретических соображений.

Отсюда мы легко увидим, что этот большой недостаток полета с плоскими крыльями происходит вследствие того, что сопротивление воздуха при наклонном движении направляется не перпендикулярно к поверхности и что поэтому немыслимо когда-либо достичь большого сбережения в работе при таких поверхностях, какова бы ни была скорость их движения.

Если, за всем тем, рассчитывают на большие выгоды для полета при соответственном движении плоских крыльев, дают искусственные формулы в технической литературе по вопросу о полете и даже выводят отсюда парение птиц, то это происходит из неверных основных положений или из усердия оправдать во что бы то ни стало ошибочные умозаключения, чему, к сожалению, мы находим не мало примеров в литературе по этому вопросу. Следует вообще признать, что в технике полета слишком много вычислений и слишком мало опытов, вследствие чего и создавалась современная литература так, как оно и должно было произойти, если в эмпирической науке для деятельности мысли не дается достаточно материала и правильной пищи из опытных данных.

## **§ 21. Превосходство птичьих крыльев над плоскими**

Так как нет никакой надежды прийти с помощью плоских крыльев к такому способу полета, при котором происходило бы большое сбережение работы и который, следова-

тельно, мог бы быть приведен в исполнение человеком, то остается только испытать, нельзя ли поправить дело применением *не плоских* крыльев.

Природа ежедневно показывает нам, что полет вовсе не так затруднителен. И если мы, совсем обескураженные, готовы были бы отказаться от надежды когда-либо летать, так как вычисления постоянно показывают нам, что для полета требуется непреодолимая работа, то, с другой стороны, медленный легко прослеживаемый удар крыла летящей большой птицы, каждая кружащаяся хищная птица, даже каждая парящая ласточка как бы говорят нам: «Вычисление ошибочно, птица, несомненно, не производит такой громадной работы; где-нибудь должен скрываться секрет, который одним ударом может разрешить загадку полета».

Видя, с какой неловкостью молодые аисты, после нескольких упражнений на коньке крыши, начинают свои первые попытки полета, причем клюв и ноги свешиваются вниз, шея, извиваясь чрезвычайно некрасивой линией, производит весьма смешные движения для обеспечения постоянно нарушаемого равновесия; видя все это, невольно приходишь к заключению, что подобный далекий полет должен быть чрезвычайно легкий, и так и хочется построить себе пару крыльев, чтобы и самому попытаться летать. Желание это еще более крепнет, когда видишь, что, по истечении нескольких дней, молодой аист начинает летать уже вполне изящно.

Проходит еще немного времени, и молодой аист, впуски со своими родителями, описывает свои круги в голубом эфире без удара крыльев перед путешествием на далекий юг (смотри картинку на заглавном листе). Из этого следует, что такой результат получается благодаря правильной форме крыльев, и если таковая налицо, то все остальное получится само собой.

Припомнив к тому же, что большинство птиц обладает летательной способностью не в скудной степени, а в изобилии, то тем более должно появиться убеждение, что искусственно полет человека также может быть выполнен, если только вопрос будет поставлен правильно и в особенности если будет обращено внимание на правильность формы крыльев.

Что птицы действительно одарены избытком летательной силы, легко видеть из того, что хищники в состоянии нести с собой по воздуху весьма тяжелую добычу. Голубь, несомый ястребом, весит почти половину того, что весит сам ястреб, и нисколько не содействует полету, потому что ястреб прижимает его крылья одно к другому своими когтями. При этом хотя и заметно весьма сильное напряжение со стороны ястреба, но, несмотря на это, он может лететь очень далеко с голубем, и, конечно, делал бы это еще лучше, если бы голубь, побуждаемый страхом смерти, не бился постоянно и если бы ястреб с висящим под ним голубем не представлял более чем двойное поперечное сечение в направлении полета, благодаря чему более быстрый полет сильно затрудняется.

Сама поверхность крыльев, вообще говоря, чрезвычайно велика, что можно заключить из того, что большинство птиц может летать даже с весьма сильно сокращенными крыльями. При отсутствии нескольких маховых перьев в полете не замечается никакой разницы по сравнению с полетом при полном оперении.

Здесь уместно заметить, что поверхность хвоста у птиц имеет лишь весьма малое значение по отношению к действию крыльев, потому что после потери почти всех хвостовых перьев птица летает почти нисколько не хуже. Воробей без хвоста перелетает через забор также хорошо, как и его хвостатые братья. Это наблюдение может быть сделано каждым желающим.

При поднимании вверх хвост, по-видимому, играет более существенную роль, нежели при поступании, на что уже указывает то обстоятельство, что птичий хвост, в противоположность рыбьему, развертываясь, образует горизонтальную поверхность.

Замечательно далее то, что птицы с длинными шеями имеют короткие хвосты, а птицы с более короткими шеями имеют удлинненные хвосты. Длинная шея весьма удобно приспособлена к перенесению центра тяжести и, следовательно, быстро может изменить наклонение птицы, покоящейся на летательной поверхности, вперед или назад. Каждый, кто видел летающим совсем молодого аиста, легко мог заметить, как последний часто пользуется шеей для

этой цели. Более длинный хвост может, однако, с выгодой заменить длинную шею, но не облегчением перенесения центра тяжести, а введением дополнительного сопротивления воздуха сзади, то поднимающего, то опускающего, смотря по тому, будет ли хвост при полете опущен или приподнят. Тогда хвост действует совершенно так, как горизонтальный руль.

Тем не менее, птица легко может обойтись без хвоста, потому что она обладает другим в высшей степени действительным средством подниматься или опускаться. Для этого ей стоит только передвинуть вперед крылья, причем опорная точка переместится также вперед и передняя часть птицы приподнимется, при отведении же крыльев назад передняя часть птицы опустится. Пользуясь последним видом движения, хищная птица падает вниз стремглав на добычу.

Автор производил опыты над голубями, с целью определить наименьшую поверхность крыльев для возможности полета. Обстригая крылья под тупым углом, хотя и можно довольно скоро лишить голубя летать, но, связывая вместе маховые перья, можно уменьшить в значительной степени поверхность крыльев, не лишая его этой способности. Крайний случай, достигнутый таким способом, причем голубь мог еще летать высоко, скоро и продолжительное время, изображен на рис. 23.



Рис. 23

Приводя также пример из мира насекомых и рискуя тем, что сравнение может показаться слишком отдаленным, укажем на, что комнатные мухи осенью ослабевают настолько, что не в состоянии ползать, но продолжают весьма хорошо подниматься на своих крыльях. При этом, однако же, следует обратить внимание на то, что чем мень-

ше животное, тем больше становится его летательная поверхность по отношению к его весу, и потому маленьким животным, как, например, всем насекомым, полет делается в особенности легким. 1 kg воробьев вместе имеет летательную поверхность в  $0,25 \text{ m}^2$ , тогда как 1 kg стрекоз обладает поверхностью в  $2,5 \text{ m}^2$ .

На этом основании мы не должны брать себе за образец мир насекомых, но должны обращаться к крупнейшим летунам, у которых отношение между летательной поверхностью и весом, по возможности, подходит к тому, которое доступно для человека.

Итак, обращая наше внимание на форму летательной поверхности, мы легко усмотрим, что крыло птицы не плоское, но имеет слегка вогнутую форму.

Спрашивается теперь, дает ли эта форма полное объяснение незначительности работы, происходящей при естественном полете, и, вообще, насколько другие не плоские поверхности в состоянии уменьшить работу при полете.

Здесь теоретические представления оставляют нас совершенно на произвол судьбы, если мы не обратимся к той теории, которая указывает нам на природу, как на нашу учительницу, и рекомендует точное исследование полета птиц.

## § 22. Оценка значения форм крыльев

Вогнутость крыльев птиц, однако же, кажется слишком малой для того, чтобы произвести столь заметную разницу в действии. Так думали и мы в 1873 году, устанавливая в одном большом берлинском гимнастическом зале во время летних каникул измерительный аппарат и укрепляя на нем разнообразные кривые поверхности с целью изыскать, по возможности, еще лучшую форму крыльев, нежели та, которую дает природа.

Измерительный аппарат уже выше описан и изображен на рис. 14; он давал возможность измерять величину и направление силы сопротивления воздуха любой поверхности,двигающейся по любому направлению с любой скоростью.

Испытываемые поверхности изготовлялись из гибких материалов, так что им легко было придавать какой угодно вид. Дело шло как раз о том, чтобы сравнить действие поверхностей различной формы по отношению к их пригодности в технике полета.

Эта бóльшая или меньшая степень пригодности должна была быть еще раз подвергнута ближайшему исследованию.

У нас было намерение найти такую форму поверхности, которая дала бы наибольшую выгоду в смысле сбережения работы при полете. Работа полета постоянно представляет собой произведение из силы на путь, пройденный в секунду. Для уменьшения этого произведения должны быть уменьшены его отдельные множители. О силе много рассуждать не приходится, потому что она всегда должна быть, по меньшей мере, равна весу поднимающегося тела. Мы должны поэтому обратить наше внимание на другой множитель, на проходимое пространство или на скорость крыльев, и постараться подобрать ее наивыгоднейшим образом для развития требуемой работы.

Летающая вперед птица чувствует лишь то напряжение, которое производит скорость крыльев по отношению к телу птицы, т. е. главным образом вертикальную составляющую сопротивления воздуха, приложенную к центру.

Поэтому прежде всего следует искать такие формы крыльев, которые при поступательном полете дали бы те преимущества, которые мы напрасно искали при плоских крыльях, и, следовательно, вопрос можно поставить так:

Существуют ли такие формы поверхностей, которые, двигаясь при поступательном полете наподобие крыльев, давали бы большее поднятие и меньшее задерживающее действие, нежели плоские летательные поверхности, употребленные при тех же условиях?

*Итак, дело в том, чтобы найти форму поверхности, которая, при известном положении, двигаясь под возможно более острым углом к горизонту, давала бы возможно бóльшую подъемную силу, поддерживающую вес тела, и возможно меньшую горизонтальную составляющую сопротивления воздуха, задерживающую скорость полета.*



Следовательно, достоинство формы крыльев состоит в том, чтобы, при медленном движении их вниз и быстром — вперед, получалось бы возможно *большее и отчетливое подъемное действие*.

## § 23. Наивыгоднейший поперечный разрез крыла

Испытанные нами поверхности, по отношению к степени их пригодности для техники полета, имели по направлению движения различные поперечные сечения, из которых некоторые изображены на рис. 24. О виде испытанных поверхностей по другим направлениям будет более подробно сказано впоследствии.



Рис. 24

Эти поверхности приводились в движение в воздухе под различными уклонами и с различными скоростями, и происходящее сопротивление воздуха каждый раз измерялось как по величине, так и по направлению.

При этом выяснилось, что между всеми этими испытанными поверхностями — наиболее пригодными для сбережения силы при полете, несомненно, оказались простые вогнутые поверхности, и притом слабо вогнутые, более всего напоминающие крылья птиц.

Итак, слабо вогнутые поверхности с разрезом, показанным на рис. 25,двигающиеся по направлению стрелки, дают сопротивление воздуха  $oa$  с большей подъемной составляющей  $ob$  и с малой задерживающей составляющей  $oc$ ; мало того, при известных углах наклона сопротивление воздуха вовсе теряет задерживающий характер и, чему мы вначале просто не решались верить, при-

обретает даже, при известных условиях, такое направление к поверхности, что, вместо задерживающей составляющей, являетсядвигающая, т. е. что давление оказывается направленным к нормали поверхности не назад, а вперед.

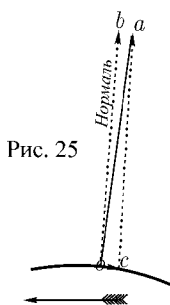


Рис. 25

Так как весьма вероятно, что секрет всего искусства летания основан просто на свойствах подобных слабо вогнутых, напоминающих крылья птиц, поверхностей то они будут впоследствии исследованы более подробно. Для начала же в следующем разделе мы сравним работу, производимую плоскими поверхностями, с работой вогнутых поверхностей. Таким путем мы убедимся в выгоде применения форм, напоминающих крылья, и в необходимости вовсе устранить плоские крылья из техники полета.

## § 24. Преимущество вогнутых крыльев перед плоскими

Для того чтобы иметь возможность произвести сравнение между сопротивлением воздуха плоской и вогнутой поверхностям, представим себе на рис. 26 и 27 в поперечном разрезе две поверхности  $ab$  и  $cd$ , одинаковой величины и наклоненные под одним и тем же углом около  $15^\circ$  к горизонту; за направление вогнутой поверхности мы будем принимать прямую, соединяющую переднее и заднее ее ребра, т. е. прямую  $cd$ .

Если привести эти поверхности порознь в движение в спокойном воздухе с одинаковой скоростью на вращательном аппарате рис. 14, то получим соответственно горизонтальные составляющие сопротивления воздуха  $ae$  и  $pf$  и вертикальные  $og$  и  $ph$ , которые нанесены на рисунках в их действительном взаимном соотношении, как они получились из опытов.

Эти составляющие дают равнодействующие сопротивления воздуха, изображенные в их абсолютной величине и

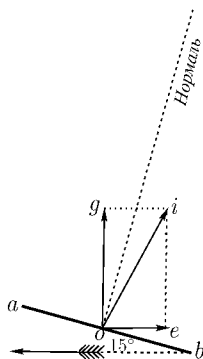


Рис. 26

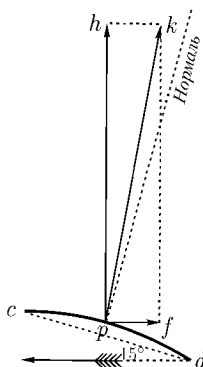


Рис. 27

направлении прямой  $oi$  для плоской поверхности и  $pk$  — для вогнутой.

Для того чтобы яснее понять, какое значение для работы полета имеют эти различные положения сопротивления воздуха, представим себе обе эти поверхности горизонтальными, для чего наклоним вниз на тот же угол в  $15^\circ$  направление скорости. Таким образом получим рис. 28 и 29; при тех же абсолютных скоростях должны получиться те же сопротивления воздуха, вызываемые этими поверхностями, а именно  $oi$  и  $pk$ , которые по отношению к поверхностям имеют те же направления, что и раньше.

Если теперь поверхности  $ab$  и  $cd$  будут приведены в движение в качестве летательных поверхностей с одинаковой скоростью  $v$ , то прежде всего замечаем, что вогнутая поверхность при той же скорости дает большую подъемную силу, следовательно, она может двигаться медленнее, нежели плоская поверхность, для развития той же самой подъемной силы, причем непосредственно получится сбережение работы.

Но еще более важно то, что у вогнутых поверхностей сопротивление воздуха направлено гораздо более выгодно.

Задерживающая составляющая  $ol$  у плоской поверхности не появляется у вогнутой, но зато здесь появляется двигающая составляющая  $pt$ . Присутствие же задерживающей составляющей  $ol$  у плоской поверхности и было

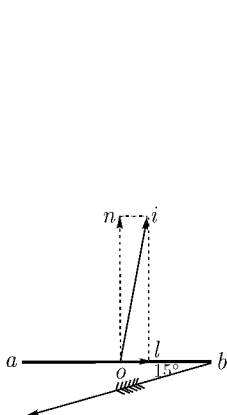


Рис. 28

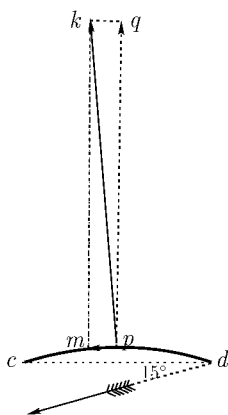


Рис. 29

собственно препятствием к сбережению силы при поступательном полете. Этого препятствия слабо вогнутые поверхности не имеют, и отсюда происходят все те выгоды, которые ошибочно предполагались и тщетно разыскивались у плоских поверхностей.

При первом взгляде на обнаружившиеся соотношения сопротивления воздуха легко понять, что вогнутым формам крыльев свойственно доставлять значительное сбережение в работе полета при поступании. Прежде чем ближе исследовать величину этого сбережения работы, следует предположить теоретические соображения относительно возникновения этих свойств сопротивления воздуха, весьма важных как для техники полета, так и для всего летающего мира животных.

## § 25. Разница между явлениями сопротивления воздуха при плоских и вогнутых поверхностях

Преимущество вогнутых поверхностей над плоскими в отношении их пригодности для полета, выраженное в численных данных, может быть выведено из опыта. Важность значения этого явления для всех вопросов техники

полета вынуждает нас по возможности отчетливо выяснить самую сущность этого явления.

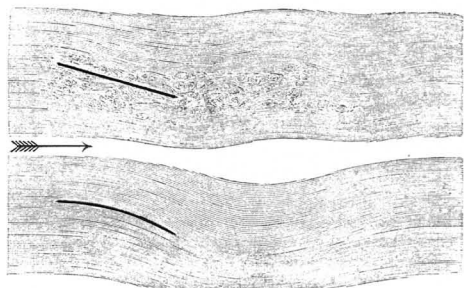


Рис. 30

Для этого представим себе на рис. 30, что две поверхности одинаковой величины, из которых верхняя имеет плоское поперечное сечение, а нижняя — вогнутое, подвержены действию равномерного горизонтального воздушного потока. Будут ли поверхности двигаться в спокойном воздухе, или будет двигаться сам воздух с той же скоростью по отношению к покоящейся поверхности, по существу, это сопровождается одинаковыми действиями сопротивления воздуха. Здесь предположено, что движется воздух для того, чтобы лучше изобразить пути частиц воздуха и составить себе более ясное представление о том, что происходит при этом в воздухе.

Обе поверхности имеют одинаковую величину и одинаковое наклонение, причем для вогнутой поверхности направление дается хордой, стягивающей дугу поперечного сечения.

С первого раза видно, что явления, происходящие в воздухе, будут различны в обоих этих случаях, а следовательно, и сопротивление воздуха будет иметь различный характер, хотя бы вогнутость поверхности была весьма слабая.

Представленное изображение, конечно, может не вполне соответствовать действительности, так как такие явле-

ния в воздухе остаются невидимыми, но достаточно лишь уловить характерные особенности для того, чтобы построить на них затем необходимые соображения.

В обоих случаях воздух, обтекающий поверхности, должен получить ускорение в направлении книзу, потому что воздух, ударяющий в поверхности снизу, должен пройти далее, а воздух, обтекающий поверхности сверху, должен неизбежно заполнить наклонное пространство сверху поверхностей. Но явления, происходящие при этом в воздухе, будут в обоих случаях различными.

Отклонение воздушного потока около плоской поверхности будет происходить, главным образом, у переднего ребра и притом внезапно. При этом получается удар, который дает начало происхождения различным вихрям.

Уже из этого одного, на основании общих законов механики, следует заключить, что неизбежно должно произойти уменьшение действия силы, потому что затраты на побочные действия являются потерей для главного. Главное же ожидаемое действие будет давление на поверхность, направленное кверху, по возможности вертикально и возможно большей величины, а это, в свою очередь, может быть достигнуто лишь тем, что поверхность, не ударяя в воздух, доставит его частицам возможно большее, вертикально вниз направленное, ускорение. Происходящие же колебания имеют круговое движение, и, следовательно, ускорения их имеют направления во все стороны; из них только небольшая часть пойдет на поднятие, тогда как остальные должно считать для этой цели потерянными.

Как показано на рис. 30, воздушный поток, ударившись о плоскую поверхность, приводится ею в беспорядок. Даже и позади поверхности происходят вихревые и неправильные движения в воздухе, которые только мало-помалу, вследствие трения, теряют приобретенную ими живую силу, направленную не в горизонтальном направлении, или, выражаясь иначе, превращаются в теплоту трения.

Плоская поверхность производит ускорение воздуха, направленное книзу, главным образом у переднего ребра, и частицы воздуха, коснувшись его, затем, в главных чертах, начинают двигаться по тому пути, который им определяется направлением самой поверхности. Это подтверждается

еще и тем, что средняя сила сопротивления воздуха при подобной, наклонно ударяемой, плоской поверхности имеет точку приложения не посередине, а ближе к переднему ребру, следовательно, распределение давления воздуха будет неравномерное и именно будет больше у переднего ребра.

Поэтому большая часть плоской поверхности заставит воздух обтекать возле себя без всякой пользы, тогда как передняя ее часть, вследствие неизбежного удара, может действовать недостаточно выгодно.

Совсем другие явления происходят при вогнутой поверхности. Ударяющий об нее воздух будет лишь весьма постепенно отклоняться от своего горизонтального направления и стекать книзу. Воздух приобретает скорость, направленную книзу, лишь мало-помалу, и притом почти не производя удара.

Уже отсюда видно, что только слабо вогнутые и гладкие поверхности, в особенности если направление ветра будет совпадать с касательной к переднему ребру, заставляют обтекающий воздух двигаться со скоростью, направленной книзу, по возможности, без образования вихревых движений и притом по направлению, совпадающему с касательной к конечному элементу поверхности. Уже это совпадение направления с касательными дает преимущество вогнутым поверхностям.

Теоретически равномерное ускорение книзу должно получиться при параболически вогнутой поверхности. Хотя подобные пологие дуги параболы и окружности весьма сходны между собой, но все же нельзя считать доказанным, что поперечные сечения крыльев птиц имеют форму параболы.

Часть живой силы частиц воздуха, направленная книзу, по оставлении ими поверхности дает меру для определения давления на поверхность снизу. Воздух покидает вогнутую поверхность сравнительно правильно двигающейся массой и, вследствие сообщенной ей значительной живой силы, направленной книзу, идет вниз значительно дальше; итак, имеет место является вертикальное движение воздуха на значительно большем протяжении, нежели проекция поверхности по направлению ветра.

В этом-то, главным образом, и различаются между собой обе поверхности, и здесь-то и кроется важнейшее различие в полученном сопротивлении воздуха.

В то время как плоская поверхность производит множество колебательных движений с незначительным вертикальным движением, соответствующая вогнутая поверхность вызывает колебательное движение волн в воздухе с возможно бóльшой вертикальной составляющего движения.

*Подъемное действие находится в прямой пропорциональности этого волнового движения, и чем отчетливее это волновое движение в вертикальном направлении, тем полнее будет и подъемное действие на кривую поверхность, вызывающую эти волны, так как наибольшему действию соответствует и наибольшее противодействие.*

Мы должны стремиться к тому чтобы, по возможности, избегать ударов и вихревых движений при поступательном полете; *плоская форма крыльев совершенно непригодна* для этой цели. Из этого вообще следует, что с воздухом, который должен с выгодой давать опору при полете, вообще обращаются слишком грубо. Для того чтобы воздух мог поднять нас при развитии незначительной механической работы, он *не должен быть развиваем, изгибаем и ломаем плоскими поверхностями*, но он должен быть, по возможности, плавно отклоняем от своего положения, и это движение должно быть произведено *при помощи правильно изогнутых поверхностей*.

Ветер, протекающий под нашими крыльями, не должен ударять о плоские поверхности, но должен встречать такие, которые он мог бы плавно обтекать, и тогда, хотя и постепенно, все же он отдаст свою живую силу на образование в возможно полной степени подъемной силы при возможно незначительной задерживающей.

Если правильно то воззрение, что принцип, который, может быть, когда-либо даст нам возможность летать по воздуху, кроется в том, чтобы избежать вихревых движений, то о тайнах сопротивления воздуха можно судить с закрытыми глазами, потому что уже ухо показывает, имеем ли мы дело с чистым волновым движением или со многими побочными колебаниями, пожирающими двигательную си-



лу. Исходя из этого убеждения, мы должны отдать предпочтение тем поверхностям, которые двигаются в воздухе без шума даже при больших скоростях, перед теми, которые, двигаясь с той же скоростью в воздухе, производят более сильный шум. И опять же исследование, основанное на указаниях уха, отдаст пальму первенства вогнутым крыльям птиц.

Но плоские и вогнутые поверхности различаются между собой и с других точек зрения. Вогнутая поверхность отклоняет протекающий воздух если и не вполне так плавно, как это показано на рис. 30, то все же заставляет описывать дуги. Предшествовавшее прямолинейное движение воздушного потока превращается приблизительно в круговое, и притом как под поверхностью, так и над ней.

Это криволинейное движение частиц воздуха соответствует вполне определенной центробежной силе, с которой те частицы воздуха, которые двигаются под поверхностью, надавливают на нее снизу, между тем как те частицы, которые двигаются сверху, стремятся удалиться от нее и производят всасывающее действие, направленное также кверху. Центробежная сила воздуха, обтекающего кривую поверхность, действует, следовательно, с обеих ее сторон в качестве подъемной силы, и если принять действительно измеренное сопротивление воздуха как результат центробежной силы, то и тогда вычисления дают результат, совпадающий с нашим представлением. В чем действие центробежной силы вполне совпадает с законами сопротивления воздуха, так это в том, что оно возрастает пропорционально квадрату скорости.

Подобный способ зрения становится совершенно невозможным в случае действия сопротивления воздуха на плоские поверхности, и в этом мы должны также видеть объяснение большого контраста в сопротивлениях тех и других поверхностей.

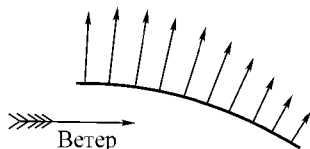


Рис. 31

В действии вогнутых поверхностей по сравнению с плоскими мы нашли двоякого рода различие: 1) увеличение

подъемной силы воздуха и 2) большее наклонение производимого давления вперед. Из последнего можно сделать заключение, что на переднюю половину как вогнутой, так и плоской поверхности, происходит несколько большее давление, нежели на заднюю, и, следовательно, распределение давления более благоприятствует тем элементам поверхности, нормали к которым более отклонены от направления движения воздуха. Можно себе представить, что распределение давления в поперечном разрезе происходит так, как показано на рис. 31. Из подобного распределения давления произойдут средние силы, которые, по крайней мере для известных наивыгоднейших случаев, дают вместо задерживающих толкающие вперед составляющие.

## § 26. Влияние очертания крыльев

Упомянутый в предыдущем разделе способ исследования сопротивления воздуха при помощи слуха легко применяется и для определения влияния на сопротивление очертания периметра испытываемых поверхностей, и действительно, он дал нам первый толчок к тому, чтобы обратить наше внимание на это обстоятельство.

Прежде всего видно, что вовсе не безразлично: будет ли наклонная продолговатая поверхность двигаться в воздухе по направлению длины или по направлению ширины.

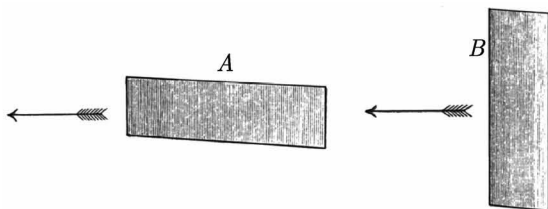


Рис. 32

Если две поверхности *A* и *B*, изображенные (вид сверху) на рис. 32, обладают одинаковой величиной, одинаковым наклонением и одинаковой скоростью, то все же про-

изойдет разница в вызываемом ими сопротивлении воздуха; о ней можно судить по тому, что при  $A$  происходят более сильные колебания и  $A$  производит больше шума, нежели  $B$ .

С волновой теорией, изложенной в предыдущем разделе, это явление находится в полном согласии. Поверхность  $B$ , хотя бы даже она была плоской, произведет не полную воздушную волну, а лишь волну некоторой определенной ширины. У более коротких краев поверхности  $B$  при разрезании воздуха также произойдут вихревые движения, сопряженные с потерями и сопровождаемые шумом; вообще, часть воздуха будет стекать в стороны без всякой пользы. *Небольшая* невыгода, происходящая от коротких боковых краев у  $B$ , будет у  $A$  значительно *более*, потому что при ней боковые грани занимают большую часть всего периметра. Воздух, попадающий на переднюю грань поверхности  $A$ , вообще говоря, никогда не достигнет задней грани, а будет искать себе боковой выход, минуя поверхность. Представляется гораздо менее возможности для образования благоприятной волны у поверхности  $A$ , нежели у поверхности  $B$ , и поэтому поверхность  $A$  произведет больше вихревых движений, а следовательно, и более сильный шум.

При движении плоской поверхности по нормальному направлению на величину сопротивления воздуха влияла лишь величина поверхности, невзирая на ее форму; при облическом же движении — наоборот: контур поверхности имеет громадное влияние на величину происходящего сопротивления воздуха.

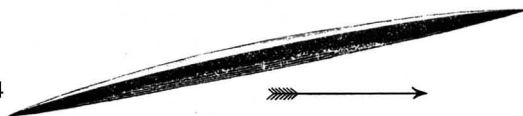
Теперь спрашивается, каким путем достигнуть возможно полного образования волны без вихревого движения для *вогнутой* поверхности, потому что и здесь образуется волна определенной ширины в зависимости от притяжения самой поверхности.

Если подобная поверхность, удовлетворяющая вообще всем условиям правильного образования сопротивления воздуха, будет обрезана тупо, как показано на рис. 33, то у краев должны произойти вихри, потому что образующаяся волна не может непосредственно соприкасаться с покоящимся или двигающимся прямолинейно воздухом.

Рис. 33



Рис. 34



Для того чтобы избежать этого, мы должны позаботиться о том, чтобы вихревое движение убывало мало-помалу к боковым граням до его полного исчезновения. Этого можно достичь тем, что поверхность заостряется к концам, вследствие чего волна становится к краям все слабее, пока вовсе не прекратится. Поэтому контур поверхности должен быть заостренным с обеих сторон, как показано на рис. 34.

Природа также указывает нам, что приведенные соображения верны, потому что на всех птичьих крыльях, кроме выпуклости, замечается заострение к их концам. Не заостренные же крылья заканчиваются при помощи маховых перьев в несколько заострений и как бы дают указание на то, что несущая воздушная волна разрешается в несколько маленьких волн, что также может вести к постепенному переходу главной волны в боковую.

Тем не менее, типы летательных поверхностей, изображенные на рис. 35, показывают, что их очертания, удовлетворяя указанному условию, все же могут быть весьма разнообразны. Мы видим у аиста и коршуна развитие маховых перьев, тогда как у других птиц, например — у голубя, чайки или ласточки, равно как и у летучей мыши, крылья сплошные.

## § 27. Об измерении сопротивления воздуха поверхностям, подобным птичьему крылу

Из всего, что до сих пор было сказано, следует, что если на законы сопротивления воздуха, вообще, нужно смот-

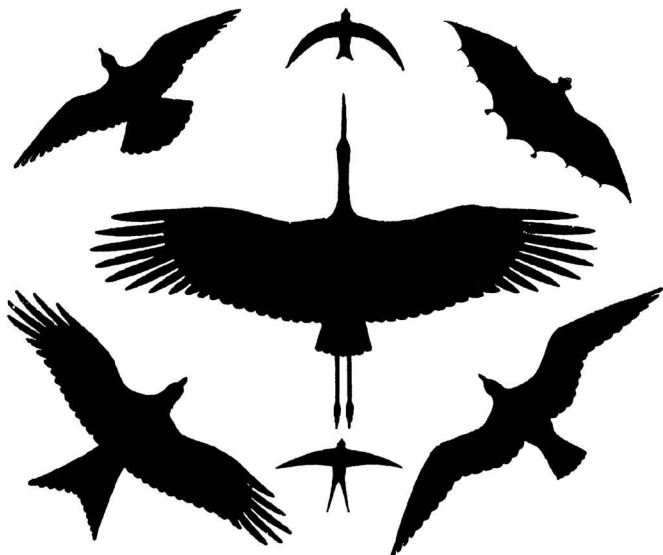


Рис. 35

реть, как на основу техники полета, то знание законов сопротивления вогнутым поверхностям, подобным птичьим крыльям, имеет особую важность для дальнейшего движения вперед в области активного полета.

Вычислять чисто теоретически сопротивления вогнутым поверхностям было бы такой же неблагоприятной работой, как и плоским. Тем не менее, имеет место целый ряд интересных теоретических соображений и расчетов для этих сопротивлений; динамическое действие воздуха, отклоняемого мало-помалу от своего направления при помощи вогнутых поверхностей, может быть определено даже точнее, нежели для плоских поверхностей, движущихся облически, хотя явление это, конечно, не будет происходить так просто, как показано на рис. 30. Впрочем, полученное изложенным путем представление предназначалось не для вычисления сопротивления воздуха, а лишь для возможно полного выяснения характерной раз-

ницы между действиями плоских и вогнутых поверхностей.

Действительное знание сопротивления воздуха, вызываемого вогнутыми летательными поверхностями, наклоненными под различными углами, мы можем почерпнуть лишь из опыта.

Только при помощи действительных измерений сил мы можем получить числовые данные, которые послужат нам как для объяснения явления, происходящих при полете птиц, так и для потребностей техники летания.

Определение этих численных величин можно произвести двумя способами, а именно: или приводя в движение поверхности в спокойном воздухе, или же подставляя неподвижные поверхности действию ветра.

Для первого способа мы пользовались вращательным движением поверхности и применяли аппарат, изображенный на рис. 14. Прямолинейное движение поверхностей потребовало бы употребления механизмов, вызывающих побочные сопротивления, являющиеся источником возникновения больших ошибок. Вращательный аппарат, хорошо устроенный, дает сравнительно небольшие побочные сопротивления. Этот метод имеет, однако же, два другие недостатка: 1) движение будет не прямолинейное и 2) испытываемая поверхность, совершив полуоборот, попадает в сферу возмущенного, а не покоящегося воздуха, вследствие чего возникают различные ошибки. Оба недостатка значительно уменьшаются с возрастанием диаметра описываемого круга, и, следовательно, подобные вращательные аппараты выгодно делать, по возможности, больших размеров.

Второй способ имеет то преимущество, что мы имеем дело с прямолинейным движением, где сопротивление воздуха происходит благодаря ветру, ударяющему на покоящуюся поверхность, но зато ветер ежесекундно меняет свою силу, и только с большим трудом удастся уловить моменты, когда ветроизмеритель показывает постоянную скорость ветра, действующего на испытываемую поверхность. Здесь остается только стремиться получить истинные средние величины путем увеличения числа опытов.

Мы применяли оба эти метода измерения и повторяли их несколько раз, потому что мы думаем, что непосред-

ственное, возможно точное изучение сопротивления вогнутым поверхностям имеет весьма важное значение, и, кроме того, таким путем один метод проверяется при помощи другого; мы вынуждены были прийти к этому еще тем обстоятельством, что, насколько нам известно, подобных опытов, дающих возможность сравнения, до сих пор никем произведено не было.

Для того чтобы хотя приблизительно определить, какова будет вогнутость птичьих крыльев в то время, когда птица покоится на них в воздухе, в нашем распоряжении имеется весьма простой способ.

Мертвое птичье крыло, равно как и крыло в спокойном его состоянии у живой птицы, будут казаться более вогнутыми, нежели тогда, когда они будут рассматриваемы во время полета, потому что более сильно вогнутые перья в ненагруженном состоянии при пользовании ими непременно несколько выпрямляются благодаря вызываемому ими сопротивлению воздуха, давящему на них снизу.

Этот изгиб можно получить искусственно таким образом: свежее птичье крыло закрепляется в обратном положении в плечевом сочленении и нагружается с вогнутой стороны песком в таком количестве, чтобы он весил несколько более половины тела птицы. Тогда крыло приблизительно будет иметь такую же вогнутость, какую оно имеет во время удара вниз или при парении. Пунктирная линия на рис. 36 показывает вогнутость крыла до его нагрузки.



Рис. 36. Поперечное сечение крыла

У хорошо летающих птиц вогнутость поперечного сечения крыла весьма незначительна, а именно, длина стрелки  $h$  (рис. 37) составляет  $\frac{1}{12}$ — $\frac{1}{15}$  ширины крыла  $AB$ . У плохо летающих птиц, как, например, у всех бегающих

птиц, имеются весьма сильно вогнутые крылья, и, напротив того, слабо вогнутыми одарены хорошо и быстро летающие морские птицы.

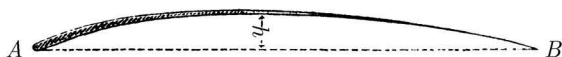


Рис. 37

## § 28. Сопротивление воздуха птичьему крылу из определений при помощи вращения поверхностей

Итак, теперь приведем результаты, полученные нами при исследовании сопротивления воздуха телам, подобным птичьим крыльям, из опытов на вращательном аппарате; приводимые результаты получены нами на большом вращательном аппарате, имеющем диаметр 7 m, причем испытываемые поверхности двигались на высоте  $4\frac{1}{2}$  m над землей. Аппарат этот был установлен на открытом воздухе, и опыты проводились только при полном безветрии. Строения и деревья находились на таком расстоянии от кругового пути, описываемого поверхностями, что нечего было бояться вредного влияния с их стороны. Тем не менее, так как опытная площадка была хорошо защищена густыми и высокими деревьями, находящимися в отдалении, то являлась возможность производить опыты во многие летние вечера.

Во всех случаях испытываемые имели каждое по  $\frac{1}{2}$  m<sup>2</sup>, и, следовательно, найденное общее сопротивление относилось к поверхности в 1 m<sup>2</sup>. Для внешнего контура была принята продолговатая, заостренная с обеих сторон форма, при ширине в 0,4 m и при длине в 1,8 m, как показано на рис. 38.

Изготовление испытываемых тел или поверхностей, равно как и придавание их поперечному сечению известного вида, производились различными способами.



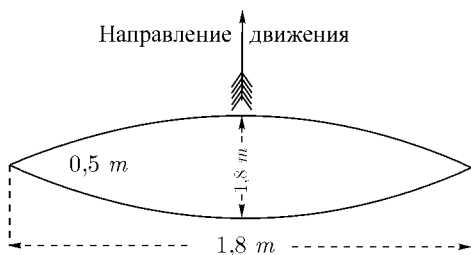


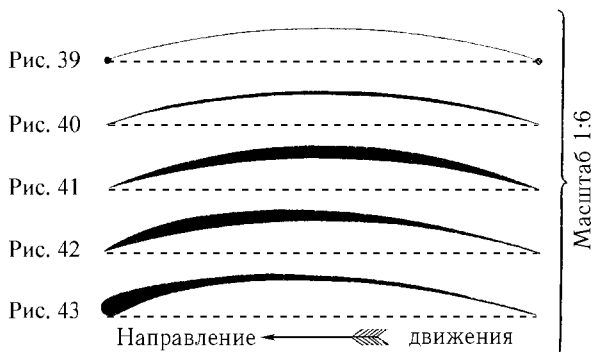
Рис. 38. Масштаб 1:30

На первый взгляд кажется, что сопротивление воздуха должно быть особенно благоприятно при том условии, если поверхность будет сделана, по возможности, более тонкой. На этом основании мы делали испытываемые поверхности из тонкой латуни. Жесткость подобных поверхностей из хорошо отбитой латуни толщиной  $\frac{1}{2}$  mm, даже значительно большей вогнутости, была недостаточна для выполнения над ними вышеупомянутых опытов, и приходилось укреплять обвод поверхности стальной проволокой в 4 mm для того, чтобы придать ей требуемую жесткость. Полученный таким путем поперечный разрез показан на рис. 39 в масштабе  $\frac{1}{6}$ .

Подобная форма поперечного сечения оказывается, однако, далеко не столь благоприятной по отношению к сопротивлению воздуха, как последующая, потому что преимущества от незначительной толщины латуни уничтожаются вредным влиянием утолщенных крыльев.

Почти одинаковые результаты давали поперечные сечения рис. 40–43. Были ли поверхности на всем своем протяжении почти одинаковой толщины, как на рис. 40, или они значительно утолщались посередине, как на рис. 41, или это утолщение лежало ближе к переднему краю — во всех этих случаях не получалось заметной разницы. При ширине в 400 mm эти постепенные утолщения могли достигать до 16 mm, т. е. до  $\frac{1}{25}$  ширины поверхности, без вредного влияния на происходящее сопротивление воздуха. Против ожидания, не получалось никакого ущерба и тогда,

когда утолщение делалось на переднем ребре и округлялось, как на рис. 43; по-видимому, эта форма обладает даже особенно благоприятными качествами по отношению к сопротивлению воздуха, т. е. она дает большее подъемное и меньшее задерживающее сопротивление по сравнению с другими заостренными поверхностями при том условии, однако, чтобы утолщение было на переднем ребре, а отнюдь не на заднем.



Вообще говоря, разница в действии поверхностей с поперечными сечениями, изображенными на рис. 40–43, была не велика, и полученные результаты могут быть в одинаковой степени отнесены ко всем этим формам крыльев.

Испытуемые тела с сечениями рис. 40–43 готовились нами из кленового дерева. Слабую вогнутость мы получали, наклеивая на тонкую доску с одной ее стороны бумагу, благодаря чему доска изгибалась. Более сильно вогнутые поверхности готовились нами из массивного дерева. Уменьшая ширину поверхности, изменяли и поперечное сечение, но всегда так, чтобы получалась подобная же форма, пропорционально уменьшенная.

Форма рис. 43 готовилась нами следующим образом: на переднем ребре укреплялся ивовый прут, заостренный к обоим концам; на него насаживались поперечные изогнутые жилки, которые затем оклеивались с обеих сто-

рон проолифенной бумагой, которая образовала как сверху, так и снизу, гладкую поверхность.

Такой же формой поперечного сечения рис. 43 обладают птичьи крылья, имеющие сильное костное утолщение в плечевой части. Как показал опыт, это утолщение нисколько не мешает летательному эффекту, если только утолщение это сглаживается к концу крыла.

Различные способы выполнения наших испытуемых тел привели нас к заключению, что металлы вообще не пригодны для устройства крыльев и что будущие крылья, по всей вероятности, будут изготавливаться из ивовых прутьев, обтянутых мягкой материей. Даже бамбуковый тростник для изготовления крыльев указанной формы пригоден менее, нежели ивовое дерево, конически растущее и легко обрабатываемое, так как оно без труда выгибается в сыром состоянии и при чрезвычайной легкости обладает достаточной крепостью.

Ивовое дерево разрывается лишь при нагрузке 8 kg на 1 mm<sup>2</sup> и будет иметь достаточный запас прочности при нагрузке в 2–3 kg. К тому же это легчайшая из всех древесных пород, так как удельный вес ивы 0,33. Алюминий в 8 раз тяжелее и только едва лишь в 4 раза крепче его.

Против того довода, что изготовление пустотелых конических трубок из алюминия дает чрезвычайно легкую конструкцию, можно возразить, что при помощи приспособленного бурава с центральным тупым концом, ведущим прямо в сердцевину, так же легко просверлить и ивовые прутья. Употребляя сверла различной толщины, можно просверлить канал, так же суживающийся к концу соответственно наружной конической поверхности прута. Описанным поверхностям придавалось поперечное сечение, изогнутое в различной степени, и затем они подвергались испытанию относительно сопротивления воздуха. За глубину впадины или величину вогнутости принималась глубина впадины, а за величину поверхности — величина ее проекции.

Сопротивление воздуха по величине и по направлению определялось на вращательном аппарате при помощи измерения двух составляющих, как это было показано при описании опытов над плоскими поверхностями.

Для слабой вогнутости в  $\frac{1}{40}$  ширины, т. е. при наибольшей длине стрелки в 1 см, дана диаграмма на черт. II.

Рис. 1 черт. II дает как по величине, так и по направлению, сопротивления воздуха, происходящие при движении поверхности, с поперечным сечением  $ab$ , по направлению стрелки, под различными углами наклона к означенному направлению.

Наибольшее сопротивление воздуха происходит в том случае, когда поверхность приходит в положение  $fg$ , т. е. имеет наклонение в  $90^\circ$ . Это сопротивление воздуха нанесено от точки  $c$  вправо по линии  $c90^\circ$ .

Если затем поверхность принимает положение  $de$  и, следовательно, наклонена под  $20^\circ$ , то по той же абсолютной скорости сопротивление воздуха по величине и направлению определится линией  $c20^\circ$ .

$c3^\circ$ ,  $c6^\circ$ ,  $c9^\circ$  и т. д. будут сопротивлениями воздуха для наклонения поверхностей  $3^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $9^\circ$  и т. д.

Даже при положении  $ab$  для угла  $0^\circ$  получается подъемное действие сопротивления воздуха  $c0^\circ$ .

Как показал опыт, слабая вогнутость не оказывает никакого влияния на сопротивление воздуха  $c90^\circ$ ; поэтому оно известно и всегда может быть вычислено по формуле  $L = 0,13 \cdot Fv^2$ .

Отношение сопротивления воздуха к этому нормальному сопротивлению для одинаковых скоростей, но для различных наклонений, дано диаграммой на чертеже VII и может быть прямо прочтено по начерченной внизу, мелким пунктиром, линии. Направление же сопротивлений воздуха получается из черт. II.

Итак, для поверхностей с весьма слабой вогнутостью, составляющей лишь  $\frac{1}{40}$  их ширины, можно определить сопротивление воздуха как по величине, так и по направлению, для любого наклонения от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Для более сильно вогнутой поверхности, у которой впадина составляет  $\frac{1}{25}$  ее ширины, получается, аналогично рис. 1 на черт. III и на черт. VII, вторая линия мелкого пунктира. Сопротивление  $c90^\circ$  здесь равно тому же сопротивлению  $c90^\circ$  на чертежах I и II, но и другие сопротивления значительно увеличились и направились несколько иначе. Особенно возросло сопротивление воздуха при  $0^\circ$ , причем

оно оказывает значительно большее подъемное действие. Последнее прекращается лишь тогда, когда переднее ребро поверхности становится ниже заднего, а именно, при наклонении —  $4^\circ$ .

Все эти явления бросаются в глаза еще более, когда поверхность дает вогнутость в  $\frac{1}{12}$  ее ширины, что воспроизведено на черт. IV, рис. 1. И здесь сопротивление с  $90^\circ$  определяется по формуле:  $L = 0,13 \cdot F \cdot v^2$ , и, следовательно, движение по нормали сопровождается таким же сопротивлением воздуха, какое дает и плоская поверхность. Но при других наклонениях сопротивление воздуха значительно разнится от сопротивления, вызываемого плоской поверхностью, двигающейся под тем же углом наклонения и с той же скоростью.

Для сравнения на черт. IV, рис. 1 сопротивления плоской поверхности нанесены пунктиром. Сопоставлением полученных результатов выгоды, происходящие от замены плоских поверхностей вогнутыми, в применении к полету становятся очевидными.

Хотя уже из черт. VII ясно видно, что сопротивление воздуха вогнутым поверхностям при движении под острыми углами до  $20^\circ$  возрастает вдвое, но черт. IV, кроме того, показывает, что сопротивление вогнутым поверхностям направляется более благоприятно, чем, главным образом, определяется их преимущество в применении для поступательного полета.

Если вогнутости дать большую величину, чем  $\frac{1}{12}$  ширины поверхности, то все упомянутые благоприятные особенности начинают убывать: снова сопротивление воздуха дает меньшую подъемную составляющую и, следовательно, приобретает менее благоприятное направление.

Поэтому вогнутость в  $\frac{1}{12}$  ширины мы должны принять за наиболее выгодную, по крайней мере, для скоростей, которые были развиты во время опытов и достигали до 12 m в секунду.

Весьма вероятно, что при еще больших скоростях несколько менее сильные вогнутости дадут более благоприятные результаты, объяснение чему было уже дано ранее.

## § 29. Сравнение направлений сопротивления воздуха

Подобно тому, как для плоской поверхности на черт. I, можно также и для вогнутых поверхностей представить диаграммы сопротивления воздуха, показывающие направления сопротивлений воздуха по отношению к поверхности.

Аналогично с рис. 2 на черт. I можно составить рисунки 2 на черт. II, III и IV, на которых поверхности предполагаются горизонтальными, тогда как их движения предполагаются направленными наклонно книзу по различным направлениям, с одинаковой абсолютной скоростью.

Эти фигуры выводятся из фигур 1 при помощи вращения каждой линии сопротивления воздуха налево до тех пор, пока соответствующая поверхность не придет в горизонтальное положение. Поэтому каждая линия должна быть повернута около точки *c* на столько градусов, сколько указывает сделанная на другом ее конце пометка.

Теперь характерные свойства вогнутых поверхностей по отношению к плоским становятся еще более наглядными. Легко видеть, что направление сопротивления воздуха не только приближается к нормали поверхности, но даже при некоторых углах переходит ее, т. е. задерживающая составляющая превращается здесь в пропеллирующую.

Итак, вогнутые поверхности имеют то свойство, что, будучи расположены горизонтально и двигаясь под некоторым углом наклонно вниз, стремятся *сами собой* увеличить горизонтальную скорость.

Этим, между прочим, объясняется и неустойчивость слабо вогнутых парашютов.

Легкие тела, представляющие собой вогнутые поверхности, при свободном полете описывают весьма своеобразные линии, и даже каждый листок протечной бумаги, падающий с нашего письменного стола, указывает своей неустойчивостью на особенные качества, присущие вогнутым поверхностям.

Из диаграмм рис. 2 на черт. II, III и IV видно, что наибольшая пропеллирующая сила получается тогда, когда поверхности двигаются, приблизительно, по направлению

касательной к их переднему ребру. Но это будет как раз тот случай, когда можно предвидеть, что получится самое совершенное образование волн и наиболее полное совпадение с изображением последних, как они представлены в разделе 25 на рис. 30.

Далее отсюда следует, что особенно быстрому полету более соответствуют лишь слабо вогнутое крыло, потому что касательная к его переднему ребру указывает на абсолютный путь крыла, который соответствует весьма большой скорости полета.

### **§ 30. О работе при поступательном полете с вогнутыми крыльями**

Если горизонтально распростертая, несколько вогнутая, поверхность при горизонтальном движении обладает уже заметной подъемной силой, если, далее, эта подъемная сила при движении под острым углом к горизонту значительно больше той, которая получается при движении плоской поверхности, и если, наконец, при известном остром угле задерживающие составляющие у плоских поверхностей превращаются в толкающие вперед у вогнутых поверхностей, то становится совершенно ясным, что при поступательном полете с вогнутыми крыльями затрата механической работы значительно уменьшается.

Совершенно так же, как это было сделано в разделе 20 для плоских крыльев, можно и для вогнутых вычислить отношение работы полета при различных скоростях поступления к работе полета на месте.

Если последнюю работу, по-прежнему, обозначим через  $A$ , то получим показанные на фигурах 2 чертежей II, III и IV числовые отношения для работы при поступательном полете, когда крылья всей своей площадью двигаются вниз под указанным углом.

Для наивыгоднейшей вогнутости *minimum* соответствует  $15^\circ$  и составляет, по чертежу IV,  $0,23 A$ . Это соответствует скорости полета, большей против скорости опускания крыльев в 4 раза, если представить себе последние двигающимися параллельно самим себе. Здесь, следова-

тельно, требуется менее  $\frac{1}{4}$  той работы, которая необходима при полете без поступательного движения.

Тогда как применение плоских крыльев, согласно разделу 20 и чертежу I фиг. 2, дает сбережение в работе полета едва на  $\frac{1}{4}$ , применение вогнутых поверхностей доводит его более чем до  $\frac{3}{4}$ .

Спрашивается, получится ли при поступательном полете выгода от ударного действия крыльев в той же степени, как и для полета на месте. Весьма вероятно, что в известной степени эти выгоды должны сохраниться. Если бы, благодаря ударному действию, сбережение происходило в той же самой степени, то работа полета составила бы едва  $\frac{1}{4}$  работы полета на месте в том случае, когда крылья с вогнутостью  $\frac{1}{12}$  двигаются вперед в 4 раза быстрее, нежели вниз. При очень больших и легких крыльях работа человека для полета на месте составляет, согласно 18 раздела, 1,5 НР. Для человека, снабженного удачно вогнутыми крыльями и летящего вперед при этих весьма выгодных, но едва ли достижимых условиях, работа определилась бы в  $1,5 \times \frac{1}{4}$  НР или около 0,4 НР. Но и эту работу человек мог бы развить лишь в продолжение очень короткого промежутка времени. Поэтому мы должны искать более выгодные условия, если желаем достигнуть того, чтобы человек мог поднять себя в воздух крыльями при помощи своей собственной физической силы.

Очевидно, что в следствие придания правильной формы крыльям достигаются большие выгоды; дело нужно подвергнуть, однако, дальнейшему исследованию на том основании, что, как это будет далее показано, до сих пор найденные величины сопротивления воздуха не вполне соответствуют практике полета.

Для последних приведенных расчетов в основу было положено то сопротивление воздуха, которое определяется на вращательном аппарате в спокойном воздухе.

В дальнейшем же будут приведены аналогичные исследования, в основу которых будут положены сопротивления воздуха по измерениям их при ветре. Тогда выяснится, что степень благоприятных результатов получится иная. Однако прежде чем перейти к измерениям при ветре, сле-



дует сделать несколько общих замечаний, как держат себя при ветре птицы.

## § 31. Птицы и ветер

Строго говоря, стихией птиц следует считать собственно не воздух, а ветер. Мы уже видели, что ветер значительно облегчает птицам взлет и что многие птицы, если нет необходимого для этого ветра, вызывают относительное движение воздуха при помощи прыжков или пробега, прежде чем последует их действительное поднятие. Далее мы замечаем, что летательные движения птиц при ветре будут совсем иного рода, нежели в спокойном воздухе. Быстрое махание крыльями при безветрии превращается в умеренные удары крыльев и у многих птиц переходит в настоящее парение.

Хотя, по-видимому, ветер влияет на полет птиц, сберегая силу и облегчая им, как это будет показано впоследствии, держаться в воздухе, но, с другой стороны, следует признать ошибочным взгляд, что будто бы птицы отдают особое предпочтение полету *против* ветра. Последнее справедливо лишь по отношению к *взлету*. Когда же произошло поднятие в воздух, то эти факторы, облегчавшие поднятие с земли, теперь отпадают прочь, потому что птица может достигнуть необходимой для нее скорости по отношению к окружающему ее воздуху и тогда, когда она летит вместе с ветром; при этом, конечно, относительно земли она будет лететь скорее, нежели дует ветер.

Дело, следовательно, идет об относительной скорости между птицей и окружающим ее воздухом, и это относительное движение воздуха действует на птицу всегда впереди; птица воспринимает его всегда как дующий ей навстречу ветер. Как общее птичье оперение, так и в особенности крылья, по отношению к размещению перьев, заставляют думать, что на *летающую* птицу ветер никогда не дует сзади. Поэтому если птица летит по направлению ветра, то летит она непременно скорее ветра.

На этом основании следует признать совершенно ошибочным соображения, пытающиеся объяснить кружение

птиц тем, что птицы направляются то против ветра и заставляют дуть его под крылья спереди, то по ветру, заставляя его давить под крылья сзади.

Абсолютные скорости полета птиц по ветру и против ветра разнятся между собой, средним числом, на величину вдвое бо́льшую скорости ветра, потому что во втором случае скорость ветра получается из разности между относительным движением птицы и воздуха, а в первом — обе эти скорости складываются и дают абсолютное перемещение в пространстве, бо́льшее против скорости ветра.

Можно принять за среднюю скорость полета птиц при безветрии 10 м в секунду, а за обычную скорость ветра 6 м в секунду. Разница этих скоростей, т.е. 4 м, будет абсолютной скоростью птицы против ветра, тогда как по ветру скорость будет равна  $10 + 6 = 16$  м и, следовательно, в четыре раза более скорости полета против ветра.

Приведенный пример показывает, как сильно разнятся между собой скорости полета против ветра и по ветру. Само собой понятно, что при более сильном ветре эта разница будет еще более значительна.

Можно допустить, что птицы стремятся выровнять эту разницу в их абсолютной скорости тем, что против ветра летят по возможности скорее, и тогда разница не будет так заметна, как она, собственно говоря, должна была бы быть. Тем не менее, эта разница останется настолько значительной, что весь полет птиц против ветра, средним числом, должен продолжаться почти вдвое дольше, нежели по ветру. Вследствие это из наблюдения над птицами получается впечатление, что они как будто бы значительно чаще летают против ветра, нежели по направлению его, а это, в свою очередь, могло дать повод думать, что полет облегчается встречным ветром, тогда как по отношению к поступанию он приносит с собой явное затруднение. Поэтому нельзя допустить, что птицы с особенной охотой летят против ветра, а если полет против ветра наблюдается значительно чаще, нежели полет по ветру, то обстоятельство это имеет вполне естественное объяснение в том, что на полет против ветра требуется больше времени.

Когда птицы летят по направлениям, составляющим некоторый угол с направлением ветра, то они чувствуют

тот ветер, который происходит от сложения их собственного движения с движением ветра и который имеет другое направление, нежели абсолютное движение птицы.

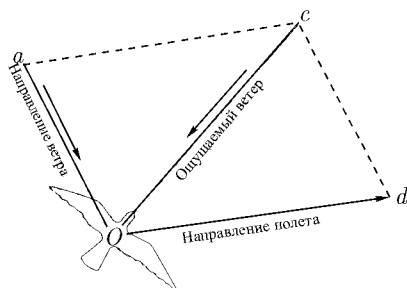


Рис. 44

Положим, птица желает лететь, например, как показано на рис. 44, с абсолютной скоростью  $ob$  по направлению  $ob$ , тогда как ветер дует со скоростью  $ao$ . Тогда птица располагается по  $oc$ , потому что она чувствует ветер дующим на нее от точки  $c$  и притом со скоростью  $co$ .

Иногда ветер достигает такой силы, что более мелкие птицы не в состоянии лететь против него. Для ворон и галок можно определить приблизительно эту силу ветра. Мы замечали при наших опытах, что когда скорость его достигает 12 м на высоте около 3 м над поверхностью земли, то названные птицы на высоте, приблизительно, около 50 м боролись с ним безуспешно.

Скорость ветра на этой высоте следует принять в 15–18 м, и потому можно думать, что вороны и галки не в состоянии летать против ветра, дующего со скоростью 18 м. Для более мелких птиц, за исключением ласточек, этот предел будет достигнут, конечно, еще ранее.

Несомненное исключение представляют морские птицы, которые, нисходя даже до мельчайших пород, предпринимают борьбу с самыми сильными бурями.

Великие мастера летания вдоль открытого моря, с альбатросом во главе, идут так далеко в своей любви к ветру, что даже вообще избегают тех стран, которые отличаются

частым безветрием, и держатся преимущественно на таких широтах и в таких морях, которые известны своими правильными сильными ветрами. Альбатрос в состоянии осилить даже ураган при помощи своих длинных и узких саблеобразных крыльев. Его тяжелое тело со стройным летательным аппаратом спокойно плывет против бури. Только слегка поворачивает и наклоняет он свои крылья, и буря несет его туда, куда он желает, то по направлению бури, то против нее. Движение по направлению бури и против нее не различаются ничем иным, как только скоростью.

Можно хорошо и долго наблюдать альбатроса, потому что в некоторых странах, как, например, возле мыса Доброй Надежды, он является постоянным спутником кораблей и, в качестве любимца моряков, любующихся его величественными движениями, он кружится вполне доверчиво около самого корабля.

Мой брат часто видел, как альбатрос с изумительной уверенностью пролетал в наклонном положении сквозь просветы такелажа, которые имели незначительные размеры по сравнению с обводами его крыльев. Нужно только себе представить, какой ловкостью должна обладать большая птица для того, чтобы скомбинировать свою собственную скорость со скоростью бури и со скоростью большого австралийского парохода и безнаказанно скользнуть между реями и такелажем.

Но проделывание этих фокусов представляет для альбатроса лишь второстепенное дело; его зеленоватые глаза довольно ясно показывают, что он, собственно, хочет. Эти глаза неустанно следят за лакомым кусочком, которого не может доставить ему матушка-море. И птицы эти умеют одновременно производить еще и четвертое движение для того, чтобы, в удовлетворение своего аппетита, подхватывать в воздухе на лету бросаемые им кухонные остатки, при этом еще отгоняя друг друга.

Многokrатно наблюдалось нами весьма замечательное и характерное поднятие плавающих морских птиц. Непосредственное подъемное действие ветра здесь познается еще яснее, чем у птицы, бьющейся в воздухе, потому что часто в непосредственной близости мне приходилось быть очевидцем, как чайки с распростертыми, но совершенно

неподвижными крыльями, поднимались с водной поверхности и продолжали свой полет, не делая ни одного взмаха крыльями. При этом, однако, должен дуть ветер, скорость которого следует признать по меньшей мере в 10 м.

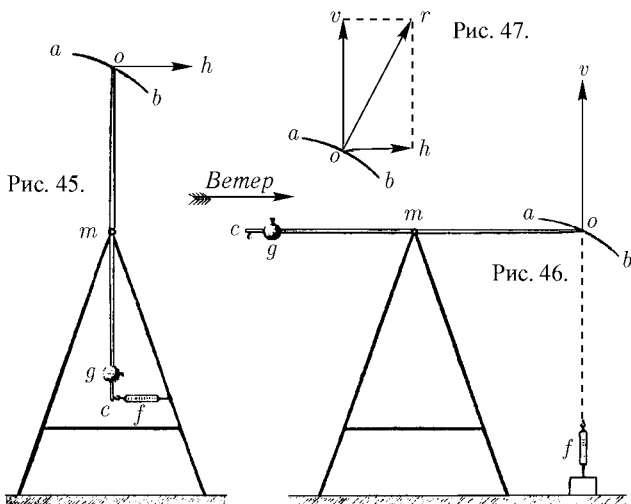
Естественно, что подобные наблюдения вынуждают непосредственно приступить к измерениям сопротивления воздуха, вызываемого ветром. Хотя выполнение подобных опытов представляет больше трудностей, нежели другой, уже описанный способ, но зато явления, происходящие с птицами при ветре, выступают здесь ярче и отчетливее, нежели из ряда умозаключений, делаемых из опытов при безветрии. При этом также нужно выяснить, не присуще ли ветру качество, которое особенным образом влияет на сбережение силы при полете. Во всяком случае, уверенности в этом отношении можно достигнуть не иначе, как подставив поверхности, подобные птичьим крыльям, непосредственному действию ветра и затем измерив происходящие при этом силы сопротивления воздуха.

### § 32. Сопротивление птичьего крыла, измеренное на ветре

Для этих опытов можно воспользоваться аппаратом, изображенным на рис. 45 и 46. Рис. 45 показывает применение его для измерения давления ветра, а рис. 46 показывает, каким образом определяется вертикальная подъемная сила ветра. В обоих случаях испытываемая поперечного сечения  $ab$  укрепляется на двухплечном рычаге  $omc$ , уравновешенном противовесом  $g$  так, что при безветрии он будет находиться с испытываемой поверхностью в равновесии в любом положении.

Если теперь ветер давит на поверхность  $ab$  (рис. 45), то силой  $oh$  рычаг будет поворачиваться около точки  $m$ . Если сделаем  $om = mc$ , то на установленных в  $c$  легких пружинных весах  $f$  непосредственно прочтем величину силы  $oh$ ;  $oh$  будет горизонтальной составляющей давления ветра на поверхность.

Совершенно аналогично будет измерена вертикальная составляющая  $ov$  при помощи пружинных весов  $f$ . Нужно,



однако же, следить за тем, чтобы колебание рычага  $omc$  происходило около среднего его положения, в первом случае вертикального, а во втором — горизонтального.

Рис. 47 показывает, каким образом путем сложения сил  $oh$  и  $ov$  получается равнодействующая  $or$ , которая дает точную величину и действительное направление давления ветра на поверхность  $ab$ . Общая для всех трех фигур поверхность  $ab$  должна быть направлена под одним и тем же углом к горизонту, и измеренные силы должны относиться к одной и той же скорости ветра.

Для измерения скорости ветра можно пользоваться аппаратом, изображенным на рис. 48; он состоит из пластинки  $F$ , сделанной из деревянной рамы, обтянутой бумагой; эта пластинка, наглухо соединенная с кружком  $t$ , может легко двигаться по стержню  $ik$ . Пластинка эта связана с  $i$  при помощи спиральной пружины  $s$ . Поэтому если на пластинку  $F$  давит ветер, то спиральная пружина  $s$  вытягивается и эта пластинка движется вперед. Вместе с ней на одинаковую величину передвигается и кружок  $t$  около шкалы, а последняя градуирована таким образом, что на месте, где останавливается  $t$ , прямо читает-

ся соответствующая ему в данную минуту скорость ветра.

По величине поверхности  $F$  легко определить давление, соответствующее различным скоростям ветра. Далее, для каждого давления ветра можно определить натяжение пружины, а следовательно, заранее знать положение кружка  $t$ , соответствующее любой скорости ветра. Таким путем может быть изготовлена шкала с вполне достаточной точностью.

Во встроенных нами ветромерах поверхности  $F$  была дана величина  $\frac{1}{10} \text{ м}^2$ .

Этот ветромер должен был быть поставлен поблизости от аппаратов рис. 45 и 46 для того, чтобы для каждого момента можно было бы знать существующую близ испытуемой поверхности скорость ветра.

Лучше всего производить эти опыты при помощи трех человек, из которых один наблюдает скорость ветра, другой — давление на пружинных весах и третий записывает полученные числовые величины.

Скорость ветра меняется почти каждую секунду, но все же иногда остается постоянной в продолжение нескольких секунд. В подобные промежутки времени наблюдатель ветра должен выкрикнуть скорость, а наблюдатель пружинных весов легко может определить соответственное давление ветра на поверхность. Когда таким путем будут сделаны и записаны целые ряды измерений сначала для одной, а потом для другой составляющей, тогда при помощи средних чисел получим годные для сравнения величины и будем

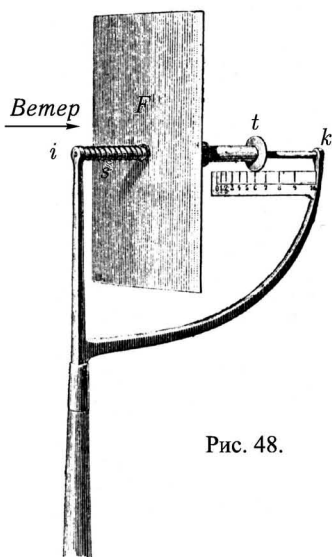


Рис. 48.

иметь возможность, складывая горизонтальную и вертикальную слагающие для различных наклонений поверхности, построить действительное сопротивление воздуха.

Первые подобные опыты описанными аппаратами были произведены нами в 1874 году, а именно — над поверхностями, заостренными к концам, площадью в  $\frac{1}{4} \text{ m}^2$  и с вогнутостью в  $\frac{1}{12}$ .

Местом для опытов служила равнина, на которой вовсе не было деревьев, между Шарлоттенбургом и Шпандау; впоследствии эта равнина была приспособлена для бегов.

Для проверки этих опытов мы предприняли осенью 1888 г. новые измерения давления ветра на поверхности вида рис. 38 и произвели их на открытой равнине между Тельцовом, Целендорфом и Лихтерфельдом недалеко от кадетского корпуса.

Результаты обоих рядов опытов хорошо согласовались между собой, несмотря на различие как в величине, так равно и в конструкции примененных аппаратов.

Отношение сопротивлений воздуха для каждого отдельного угла наклона к горизонту показано на чертеже V, рис. 1 совершенно аналогично тому, как это было сделано ранее, и притом для наивыгоднейшей выпуклости в  $\frac{1}{12}$  ширины крыла.

Рис. 2 на чертеже V показывает, по-прежнему, отклонение сопротивления воздуха от нормали к поверхности.

Так как эти диаграммы составлены в одном и том же масштабе, то есть возможность сравнить их с прежними. Кроме того, пунктиром нанесена диаграмма чертежа IV, что дает возможность видеть, как сильно отличаются измерения на ветре от измерений, произведенных над поверхностями, приводимыми во вращение при безветрии.

Наибольшая разница замечается при маленьких углах, а именно, около угла  $0^\circ$ . Горизонтально распростертая вогнутая поверхность, как мы можем видеть, поднимается ветром и не испытывает давления спереди. Этот случай, который прямо объясняет парение птиц, мы ближе рассмотрим впоследствии.

Прежде всего нужно уяснить себе возможность столь большой разницы в сопротивлении воздуха, с одной стороны, для поверхности, вращающейся с известной скоро-



стью, а с другой — для поверхности, встречающей ветер такой же скорости и под тем же углом.

Вслед за этим будут указаны некоторые опыты, которые дадут необходимые по этому поводу объяснения.

### § 33. Увеличение подъемной силы благодаря ветру

Если в последних приведенных опытах, измеряя вертикальные составляющие сопротивления воздуха на приборе рис. 46, мы расположим поверхность  $ab$  по направлению рычага  $cta$ , уравновесив поверхность предварительно грузом  $g$ , как показано на рис. 49, и затем предоставим ее самой себе на ветре, то рычаг станет не в горизонтальное положение, но поверхность, произведя некоторые колебания вверх и вниз, будет заметно приподнята, а именно, в среднем, она станет около  $12^\circ$  над горизонтом. Для того чтобы привести поверхность в горизонтальное положение, необходимо приложить к ней сравнительно довольно значительную силу, равную почти половине того сопротивления воздуха, которое получается тогда, когда поверхность поставлена нормально к действию ветра.

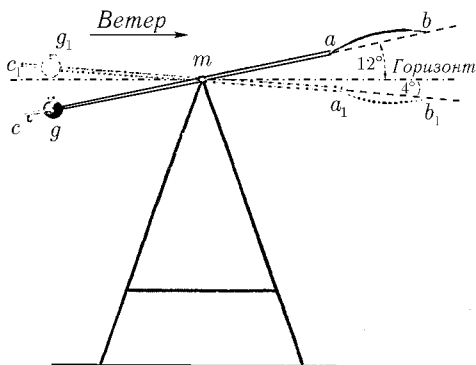


Рис. 49

Итак, в положении  $stab$  поверхность не испытывает давления ни сверху, ни снизу, или, по меньшей мере, оба эти давления оказываются одинаковыми, потому что ветер сам собой устанавливает поверхность в этом положении.

Если теперь повернем поверхность  $ab$  и обратим ее вогнутостью вверх, то она примет положение  $c_1ta_1b_1$ , показанное пунктиром, т. е. рычаг опустится тем концом, где укреплена поверхность, но не на  $12^\circ$  ниже горизонта, а в среднем лишь около  $4^\circ$ .

Отсюда следует, что поверхность без вогнутости, т. е. плоская поверхность, установленная в направлении рычага на ветре, должна принять положение, делящее угол  $ata_1$  пополам.

Подобный опыт мы также повторяли многократно, и, действительно, всякий раз плоская поверхность приходила в указанное среднее положение, причем, как показано на рис. 50, рычаг с поверхностью поднимался ветром на  $3^\circ$ – $4^\circ$ . При этом также происходили колебания вверх и вниз, но все же легко было отчетливо определить среднее наклонение.

Отсюда становится ясным, почему при ветре образуются столь сильные подъемы или столь большие поднимающие составляющие; очевидно, что ветер оказывает такое действие, как если бы он был направлен вверх, что, конечно, по необходимости можно увеличить подъемное действие.

Аппарат (рис. 50) до некоторой степени представляет собой флюгер с горизонтальной осью. Подобный флюгер, поставленный вблизи строений, указывает на значительные колебания ветра на направлении вверх. В таких местах восходящее направление ветра сменяется нисходящим так быстро, что эти колебания часто превышают угол в  $90^\circ$ . На больших открытых равнинах, наоборот, направление ветра вверх становится значительно более постоянным, хотя все-таки происходят незначительные, но все же заметные колебания то вверх, то вниз от некоторого среднего положения. Это среднее положение составляет, приблизительно,  $3\frac{1}{3}^\circ$  с горизонтом.

Странно только то, что в явлении не замечается почти никакой разницы и в том случае, когда аппарат рис. 50

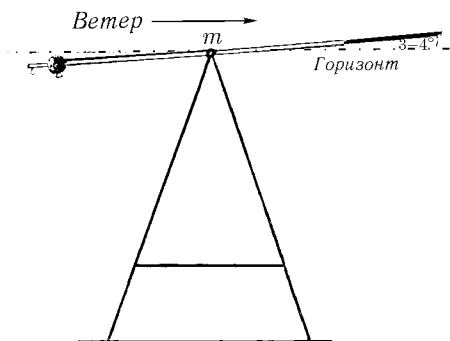


Рис. 50

Рис. 50

устанавливается на местности, слегка поднимающейся или опускающейся, если только в общих и в главных чертах площадка, служащая для опытов, сохраняет горизонтальное положение. Между прочим, мы можем указать, что подобное отклонение давал флюгер, поставленный на высоте 4 m над землей, на местности, которая на протяжении более 200 m шла уклоном в  $5^\circ$  вниз по направлению ветра. Наши многочисленные наблюдения показали нам, что названное свойство ветра повторяется с замечательным постоянством. Ни направление ветра, ни его скорость, ни время года или время дня не давали существенного различия в замеченном нами явлении восхождения ветра.

Весьма вероятно, что это свойство воздуха происходит вследствие того, что с высотой скорость ветра значительно возрастает. Если, например, ветромер в открытом поле на высоте 1 m над землей показывает скорость ветра в 4 m, то часто на высоте 3 m замечается скорость ветра уже в 7 m.

Объяснять причину этого восхождения направления ветра, собственно говоря, здесь не представляется надобности. Для теории полета птиц и для техники полета достаточно знать факт, что ветер оказывает на летательные

поверхности такое действие, как если бы он обладал восходящим направлением в  $3^{\circ}$ – $4^{\circ}$ .

Для того чтобы получить больше уверенности в существовании этого весьма важного факта для всего летательного вопроса, мы построили аппарат рис. 51, на котором устанавливались одна над другой 5 флюгарок с горизонтальными осями на высотах 2, 4, 6, 8 и 10 m над горизонтом.

Все 5 флюгарок показывали замеченное ранее восхождение ветра в  $3^{\circ}$ – $4^{\circ}$ . Положения их, однако же, не всегда были взаимно параллельны, а напротив того, флюгарки колебались иногда поодиночке, а иногда и все одновременно, но на различные углы с горизонтом.

Чтобы получить общее действие, мы соединили углы флюгарок с обеих сторон на равном расстоянии от осей вращения проволоками, как показано на рис. 51, и таким образом заставили их оставаться между собой параллельными. Тогда мы получили среднее восхождение ветра по высоте до 10 m над поверхностью земли.

Это среднее направление ветра кверху тоже беспрестанно колебалось то вверх, то вниз от среднего положения в  $3^{\circ}$ – $4^{\circ}$ .

Для того чтобы эти колебания не вовлекли в ошибку при определении действительного среднего положения, мы заставили сам ветер чертить ряд диаграмм относительно его восходящего направления.

Из рис. 51 ясно видно, какие приспособления служили для этой цели. Рычаг самой нижней флюгарки, при помощи легкого стержня, передавал общее движение всех флюгарок карандашу, который, следя за изменяющимся восхождением ветра, двигался то вверх, то вниз. Если теперь цилиндр, обтянутый бумагой и слегка надавливаемый карандашом, будет приведен в равномерное вращательное движение, то на бумаге получится волнистая линия. Для того чтобы определить величину колебаний рычагов, вначале они устанавливались по ватерпасу, и бумажный цилиндр оборачивался один раз; при этом карандаш чертил прямую линию, соответствующую горизонтальному положению рычагов, или то положение, которое должны принять свободно двигаю-

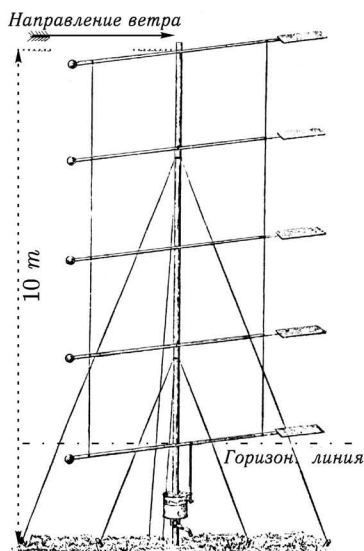


Рис. 51

щиеся рычаги при ветре, дующем строго горизонтально.

Таким путем получились диаграммы, из которых легко можно было определить среднее восхождение ветра. Рис. 3 на чертеже V показывает подобную волнистую линию, начерченную самим ветром в течение минуты. Из нее мы видим, что карандаш большей частью двигался выше горизонта и в общем колебался между  $+10^\circ$  и  $-5^\circ$ . Наибольшие из замеченных нами колебаний, которые встречались гораздо реже, находились между  $16^\circ$  выше горизонтали и  $9^\circ$  ниже ее.

Все полученные нами диаграммы имели некоторые общие свойства: для промежутка времени в одну минуту на всех получалась почти одинаковая средняя величина  $3,3^\circ$ . В течение каждой целой минуты карандаш по несколько раз опускался ниже горизонта, хотя и на короткое время.

В продолжение минуты все полученные кривые давали почти одинаковое число вершин, т. е. около 20 maxima и 20 minima. Каждое колебание кривой кверху и книзу продолжалось, таким образом, средним числом, 3 секунды. Только в виде исключения восхождение ветра оставалось постоянным, приблизительно в продолжение 6—8 секунд.

Отсюда понятно, с какими затруднениями приходится бороться, измеряя сопротивления воздуха на ветре, а также и то, что только весьма многочисленные опыты могут дать хорошие средние величины.

Следует еще заметить, что при этих опытах нам бросалось в глаза в особенности то обстоятельство, что флюгарки поднимались сильнее тогда, когда у подошвы столба на земле чувствовался слабый ветер, откуда следует, что разница в скоростях ветра по высоте становилась сравнительно большой.

Усиление ветра с высотой, по необходимости, должно быть сопровождаемо более или менее сильным вращательным движением во всей массе воздуха, потому что немыслимо, чтобы слои воздуха различных скоростей двигались бы один над другим прямолинейно и чтобы трение, происходящее даже при непрерывном возрастании скоростей ветра по высоте, не оказывало влияния на их взаимные направления движения; стремление к вращательному движению должно иметь последствием то, что траектория частиц воздуха должна иметь вид циклоидальных волновых линий, которые, благодаря неровностям земной поверхности, вблизи ее будут неправильны и представлять правильный характер лишь в более продолжительные периоды.

Мы должны видеть причину постоянных колебаний в восхождении ветра около некоторого среднего положения, находящегося выше горизонта, равно как и причину увеличения подъемного действия ветра — в трениидвигающегося воздуха около земной поверхности, в разнице температур и, наконец, в стремлении ветра сгладить разности давления, происходящие вследствие сгущения атмосферы.

Наконец, мы можем указать на то, что линия, описываемая во время ветра дымом, вытекающим из высоких, свободно стоящих фабричных труб, тоже дает ясную картину движения воздуха и его восходящего направления.

Высказывается мнение, что это восхождение обуславливается высокой температурой дыма; это, конечно, справедливо, но только лишь в непосредственной близости дымовой трубы, и влияние высокой температуры не может распространяться на протяжении километров.

Для того чтобы точнее найти связь между упомянутыми в этом отделе явлениями и вероятные их причины и определить таким образом законы зависимости между ними, необходимо, во всяком случае, значительно расширить исследования, а именно, кроме восходящих колебаний ветра, измерять одновременно также и боковые, равно как и проследить изменение силы ветра и ее приращение с высотой.

Весьма было бы желательно, чтобы в этом направлении были произведены обстоятельные опыты, которые имели бы громадное значение не только для техники полета, но также и для метеорологии.

### **§ 34. Сопротивление птичьего крыла в спокойном воздухе, определенное на основании измерений на ветре**

Итак, мы можем принять, что при опытах, результаты которых изображены на чертеже V, ветер, в среднем, имел восходящее направление, по крайней мере, в  $3^\circ$ . Поэтому, желая сравнивать результаты измерений на ветре с таковыми же, полученными на вращательном аппарате, мы должны постоянно относить измерение на ветре к углу наклона поверхности не к горизонту, а к направлению ветра, т. е. мы должны постоянно увеличивать угол к горизонту еще на  $3^\circ$ . Сделав это, мы получим диаграмму чертежа VI, рис. 1, на которой для сравнения нанесена пунктиром также соответственная линия чертежа IV.

Только после этого мы можем определить, какая разница получается при измерении обоими этими способами, а именно: когда установлены отклонения и источники ошибок, сопутствующие вращательному аппарату и о которых уже было сказано ранее. Поэтому чертеж VI дает нам те сопротивления воздуха, которые происхо-

дят при прямолинейном движении поверхности, подобной птичьему крылу, в неподвижном воздухе. Эти сопротивления, равно как и полученные на ветре, нанесены пропорционально их величинам наверху чертежа VII. И здесь мы видим, как сильно возрастает сопротивление благодаря вогнутости поверхности. Но указателем ее выгодности является и здесь не столько величина сопротивления воздуха, сколько, в особенности, его направление.

Теперь снова можно по рис. 1 чертежа VI сравнить направления сопротивления воздуха, предполагая, что горизонтально распростертая вогнутая поверхность  $ab$  двигается вниз по направлениям  $0^\circ-90^\circ$ .

Рис. 2 на чертеже VI дает нам линии сопротивления воздуха, нанесенные так, как они действительно направлены по отношению к поверхности  $ab$ , когда эта вогнутая поверхность двигается в неподвижном воздухе по прямой линии, причем в основу положены величины сопротивления воздуха, измеренные на ветре.

### **§ 35. Работа при полете в спокойном воздухе, определенная на основании измерений на ветре**

Сбережение работы, происходящее при поступательном полете в неподвижном воздухе, также может быть вычислено подобно тому, как это было сделано ранее; полученные величины нанесены на рис. 2 чертежа VI соответственно углам направления движения крыльев и вычислены в отношении к работе  $A$ , необходимой для полета без поступательного движения.

Теперь оказывается, что при быстром поступательном движении вперед и медленном опускании крыльев, т. е. при сравнительно скором полете, развивается значительно меньшая работа.

Если даже принять во внимание сопротивление воздуха, вызываемое телом птицы, то и тогда получаем едва лишь  $\frac{1}{10}$  той работы, которая необходима при полете на месте. Вследствие того, что нисходящее движение крыльев



сделалось чрезвычайно медленным, польза, происходящая от ударного действия, значительно уменьшится.

По разделе 18, *minimum* работы при полете на месте для человека будет равен 1,5 НР. Допустив, что часть выгоды от ударного действия пропадет, и увеличивая работу вдвое, мы получим 3 НР, и на эти 3 НР нужно смотреть на чертеже VI как на работу А. Тогда мы получим механическую работу для полета человека при среднем наклонении крыльев к низу в  $3^\circ$ , равную 0,3 НР.

Это была бы, однако, та работа, которую человек развил бы лишь после довольно продолжительного упражнения. Поэтому вполне возможно допустить, что если бы построенный нами летательный аппарат имел бы самую благоприятную форму и при поверхности 15–20  $m^2$  весил бы не более 10 kg, то с его помощью можно было бы, при больших скоростях, летать по горизонтальному направлению в спокойном воздухе.

При помощи подобного аппарата можно было бы и без малейшего удара крыльями произвести продолжительный слегка наклонный книзу полет, который представит собой весьма много интересного и поучительного.

### **§ 36. Изумительные явления, происходящие при опытах с вогнутыми летательными поверхностями на ветре**

Тот, кто имеет ясное представление о том, что необходимо для полета, тот, рассматривая диаграммы на чертежах V и VI, конечно, не упустит из виду большой подъемной силы, развиваемой при действии ветра на поверхности, подобные птичьим крыльям. Простое сухое представление, даваемое подобными диаграммами, однако, далеко от того, которое получится при личном рассмотрении возникновения этих линий, рисующих собой указанный замечательный закон. Так как выраженные в этих диаграммах законы сопротивления воздуха как раз представляют собой ключ для разъяснения многих явлений при птичьем полете, то весьма важно ближе рассмотреть соображения, вытекающие из приведенных опытных диаграмм.

Тот, кто сам предпримет подобные опыты, тот получит много впечатлений, ускользающих при простой передаче их числами и графическими изображениями, потому что действия сил, которые не только видишь и слышишь, но даже чувствуешь, запечатлеваются в представлении гораздо яснее по отношению к их значению для преследуемых целей. Поэтому весьма поучительно самому поработать на ветре с большими летательными поверхностями правильной формы. Всем же тем, кто не имеет возможности сделать это, последующее послужит для лучшего разъяснения.

Когда мы впервые вышли на ветер с подобными легкими вогнутыми поверхностями, то сразу же почувствовали их значение. Даже при пересечении подобных больших крылатых тел к месту проведения опытов появляются весьма интересные наблюдения. Приятнее проводить опыты тогда, когда ветер дует сильнее, потому что чем больше будут полученные числовые величины, тем само измерение будет точнее, но при перенесении испытуемых поверхностей на свежем ветре по открытому полю появляются особые затруднения. Положим, что поверхности сделаны из ивовых прутьев, обтянутых с обеих сторон бумагой. Прежде всего с ними следует обращаться весьма осторожно: ветер крутится около поверхностей самым непредвиденным образом; он давит на них то вверх, то вниз, так что не знаешь, как их держать. С первой же попытки перенесения их к тому месту опытов получают безошибочные указания, каких приемов придерживаться в этом случае. Оказывается, что та самая выпуклая крылообразная поверхность, которую при обращении впадиной вверх было так трудно нести, точно она была наполнена песком, после поворота ее впадиной книзу, мягко поднимается и поддерживается ветром. Если положить ладонь на поверхность и воспрепятствовать ей подниматься, причем установить ее в горизонтальном положении, то испытуемая поверхность просто плывет по ветру, при размерах ее около  $0,5 \text{ m}^2$  и при сильном ветре она даже несет на себе часть самой руки.

Теперь, когда перед нами лежат диаграммы, весьма легко вычислить подъемное действие на подобную поверхность ветра, дующего со скоростью 10 m. Если за подъемную силу мы примем лишь половину давления, соответ-

ствующего нормальному направлению ветра, то для скорости его в 10 м, при величине поверхности  $0,5 \text{ м}^2$ , получим сопротивление воздуха

$$L = \frac{1}{2} \cdot 0,13 \times 0,5 \times 100 = 3,25 \text{ кг}.$$

Если сама поверхность весит 1,25 кг, то для того чтобы не быть приподнятой ветром, она должна быть придавлена книзу силой в 2 кг. Чувствуется, что поверхность плывет по ветру, и нет надобности заботиться о том, чтобы ветер понес ее по своему направлению, потому что сопротивление воздуха направлено вертикально вверх и не оказывает никакого давления назад, если поверхность сделана правильно с вогнутостью в  $\frac{1}{2}$  ширины, что, конечно, в сильной степени должно поразить каждого, не освоившегося с подобным явлением. Невольно говоришь себе, что стоит только соответственно увеличить летательную поверхность, сделать ее, например, вместо  $0,5 \text{ м}^2$  в  $20 \text{ м}^2$  для того, чтобы тотчас же начать парить. Если, однако, припомнить о необходимости поддерживать равновесие, тогда станет понятным, что нужны еще продолжительные упражнения для того, чтобы уметь управляться со столь большими поверхностями в воздухе.

Если затем на приборе, предназначенном для опытов (рис. 46), укрепить поверхность таким образом, чтобы ее края лежали в одном направлении с рычагом и чтобы, при горизонтальном его положении, поверхность также была бы распростерта горизонтально, то уже и при слабом ветре чувствуется, что поверхность имеет стремление подняться в воздух, потому что противовес уже уравнивает его собственный вес.

Если освободить поверхность, то плечо рычага с укрепленной на нем поверхностью поднимается значительно выше, т. е. получается то явление, о котором было говорено в 33-ом разделе.

Поверхность предварительно уравнивается в закрытом помещении при помощи противовеса таким образом, чтобы рычаг находился при всяком своем положении, причем происходит так называемое *безразличное равновесие*; поэтому об ошибке не может быть и речи.

При дальнейших измерениях сил выяснились весьма большие различия по сравнению с результатами, полученными при испытании плоских поверхностей. Уже непосредственное ощущение обнаруживает увеличение давления на вогнутые поверхности, но явление становится особенно удивительным тогда, когда во время ветра получается подъемная сила при расположении переднего ребра поверхности ниже заднего. Эта подъемная сила, как видно из диаграммы чертежа V, исчезает лишь тогда, когда хорда дуги поперечного сечения поверхности наклонена к ветру вниз под углом  $12^\circ$ , причем непосвященный, конечно, с уверенностью будет утверждать, что ветер должен производить на поверхность давление, направленное книзу.

После измерения вертикальной составляющей давления ветра устанавливаем рычаг вертикально для того, чтобы определить и горизонтальное давление согласно рис. 45.

Начав установку поверхности по рис. 52 в горизонтальное положение, наталкиваешься на новое поразительное явление, потому что, против всякого ожидания, рычаг с укрепленным наверху его большим испытуемым телом остается в вертикальном положении даже при сильной буре и лишь слегка колеблется взад и вперед около своего среднего положения. Проекция поверхности по направлению ветра, включая толщу поверхности, составляет более  $\frac{1}{10}$  ее основания, и тем не менее, ветер не отодвигает поверхности и рычаг сохраняет вертикальное положение, производя лишь слабые колебания наподобие маятника.

Удивленные этим явлением, мы нарочно выводим рычаг из его среднего положения против ветра или по ветру и находим, что испытуемая поверхность всегда возвращается к высшей точке, а сам рычаг — к вертикальному положению. Поэтому поверхность не только *может*, но и *должна* оставаться в высшей точке и, следовательно, при этом находится не в неустойчивом, а в устойчивом равновесии. Для того чтобы еще больше убедиться в этом выводе, можно укрепить к рычагу над поверхностью какое-либо тяжелое тело, например камень (при наших опытах 2 kg), так что верхнее плечо в действительности будет тяжелее нижнего, но и тогда поверхность останется наверху в устойчивом по-

ложении, если только приложенный груз для данной силы ветра не превзойдет известного предела.

Объяснить это явление будет несколько не трудно, если мы возьмем диаграмму чертежа V. Нанесенные на ней силы показывают, что, при наклонении поверхности в  $0^\circ$  относительно горизонта, давление ветра расположится нормально к поверхности, т. е. вертикально, а что при отрицательных углах, когда поверхность наклонена книзу, давление ветра будет отодвигать ее назад. При положении поверхности, изображенной на рис. 53, имеет место давление ветра  $x$ , которое приводит ее обратно к среднему положению. Если вызвать искусственно положение рис. 54, то для всех углов до  $30^\circ$  происходит сопротивление воздуха  $y$ , которое отклонено от нормали к поверхности в сторону ветра и потому вращает рычаг около точки  $m$  влево и тянет поверхность против ветра.

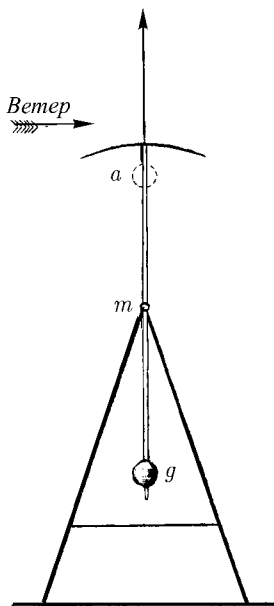


Рис. 52

Итак, ни положение рис. 53, ни положение рис. 54 не могут сохраниться, но оба они должны изменяться до тех пор, пока не получится среднее, вертикальное положение рис. 52, при котором давление ветра направлено вертикально и действует на горизонтальную поверхность подъемным образом.

Это явление, о котором прежде не имели ни малейшего представления, всего яснее характеризует способность слабо вогнутых поверхностей к парению, т. е. к такому полету, который происходит без движения крыльями и без существенной механической работы со стороны летящего тела.

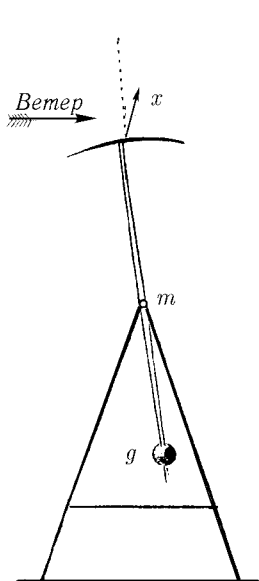


Рис. 53

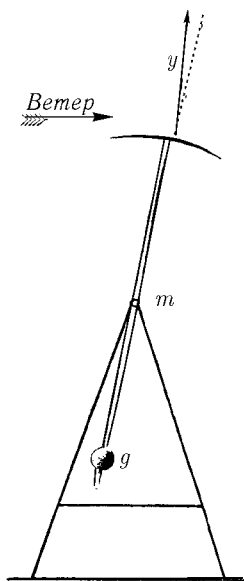


Рис. 54

Только что рассмотренная летательная поверхность поднялась бы сама собой, если бы она была прикреплена к рычагу и если бы она могла сохранять горизонтальное положение, что естественно происходит у летающих существ, снабженных подобными крыльями.

Птицы могут, однако, парить, не только оставаясь спокойными в воздухе на ветре, как это мы часто можем наблюдать на ястребе, выслеживающем добычу, но не двигающемся при этом ни вниз, ни вверх, ни вперед, ни назад, а остающемся почти неподвижным, — птицы могут, сверх того, парить против ветра, либо описывая круги, либо двигаясь прямолинейно. Часто, производя описанные опыты и разыскивая силы, обуславливающие парение, мы наблюдали хищных и болотных птиц, которые поднимались ввысь против ветра над нашим аппаратом. Наши измерения уничтожили всякое сомнение в том, что существуют летательные поверхности, которые на ветре поднимают-

ся вертикально, не уклоняясь в сторону по направлению ветра. Птицы учат нас еще тому, что должны существовать летательные поверхности, которые, по крайней мере в верхних воздушных слоях против ветра, вызовут давление воздуха на тело, остающееся в покое относительно земли, направленное не только вертикально, но и дающее пропеллирующую против ветра слагающую, которая может преодолевать продолжительное время сопротивление воздуха телу птицы.

Это явление может быть, конечно, объяснено только восходящим направлением ветра. Вполне правильное решение вопроса получится, однако, лишь тогда, когда мы будем в состоянии чувствовать непосредственно давление воздуха под нашими собственными крыльями.

То, что сказано в этом разделе о поверхностях, подобных птичьему крылу, частью относится ко всем вогнутым поверхностям, подвергнутым действию ветра. Мы напомним о некоторых явлениях из обыденной жизни, где чрезвычайно отчетливо обнаруживается удивительное действие ветра на вогнутые поверхности. Развешенное для просушки на веревках на открытом воздухе белье, равно как и флаги с горизонтальными древками показывают нам, какой большой подъем испытывают вогнутые поверхности при ветре и как легко они переходят в горизонтальное положение, несмотря на их собственный вес. Небольшой рисунок (рис. 55) восстановит многим часто наблюдаемую картину.

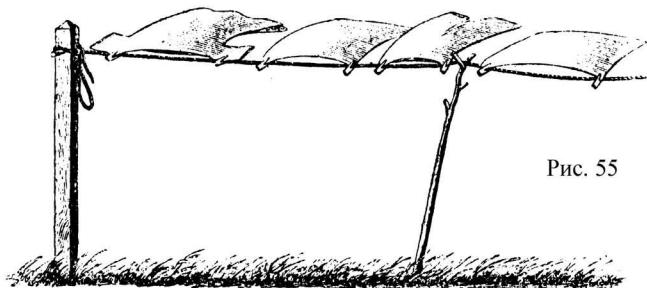
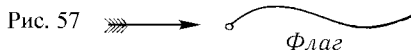
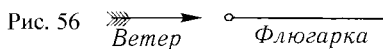


Рис. 55

Но и техника, хотя часто и бессознательно, пользуется аэродинамическими выгодами вогнутых поверхностей. Паруса кораблей, равно как крылья голландских ветряных мельниц большей частью своего эффекта обязаны вогнутости их поверхностей, которая происходит сама собой или производится искусственно.

Теперь, когда мы убедились, какая громадная разница происходит от того, что поверхность, поставленная под острым углом к ветру, потеряет свой плоский вид и лишь слегка вогнется, для нас становится вполне ясным, что парусное действие, вычисленное при допущении парусов плоскими, может дать лишь слабое приближение к действительности, и мы перестанем удивляться тому, что действительное парусное действие превосходит вычисленное.

Постоянное колебание флагов на вертикальных древках при сильном ветре также напоминает о названном свойстве вогнутых поверхностей.



Негибкий флюгер, сделанный из листового железа, спокойно устанавливается по направлению ветра, как изображено в горизонтальной проекции рис. 56. Совсем не то происходит с флагом из материи: он, колеблясь, образует большие волнистые изгибы. Объяснение этому может быть дано следующее: матерчатый флаг дает неустойчивое равновесие, поэтому образование самой незначительной вогнутости усиливает давление ветра в эту сторону, именно вследствие известных уже нам теперь свойств вогнутых поверхностей; благодаря этому, вогнутость еще более увеличится и флаг примет вид рис. 57; вогнутость будет возрастать до тех пор, пока давление ветра при  $a$  не сделается настолько сильным, что прихлопнет образовавшуюся вы-



пуклость, после чего образуется новая форма, рис. 58. Это выгибание то в ту, то в другую сторону, то вправо, то влево, и вызывает колебание флагов и их постоянно ровные волновые движения.

Здесь будет уместно обратить внимание на то, что каждый бумеранг с поперечным сечением рис. 59., который легко получить в продаже, может быть сделан гораздо лучше летающим, если поверхность его выдолбить по рис. 60, потому что на рис. 59 представлено лишь несовершенное приближение к форме рис. 60.

Наконец, даже в растительном царстве мы видим, что природа пользуется выгодой вогнутых крыльев, приспособляя к полету на ветре семена многих растений, при помощи слегка вогнутых крылышек.

Приведенные опыты с вогнутыми поверхностями в воздухе, повторенные в воде, с приспособленными аналогично построенными телами могут дать не менее интересные и плодотворные результаты. Даже в самом маленьком масштабе, например, в наполненной кофейной чашке, можно получить некоторое представление об этом, чувствуя, как чайная ложка,двигаемая боком взад и вперед, обнаруживает отчетливо заметное стремление в сторону своей вогнутости.

Следовательно, и для капельных жидкостей вогнутые поверхности,двигаемые по направлению хорды, получают более сильное давление в сторону вогнутости, и можно принять, что соображения, связанные с рис. 30 в разделе 25, в известной степени справедливы и для движения в воде. Не имеет ли теория корабельного винта пробела в том, что значение этого выгиба поперечного сечения недостаточно оценено?

Рис. 59



Рис. 60



## § 37. О возможности парения

Многократно произведенные и описанные нами в предыдущем разделе опыты показывают, что сопротивление

воздуха вогнутым поверхностям обладает свойствами, с помощью которых может произойти действительное парение в воздухе. Парящая птица — это змей без шнура, существующий не только в воображении, но и в действительности.

Может быть, не каждому, интересующемуся явлениями, происходящими при полете птиц, удавалось наблюдать больших парящих птиц настолько близко, чтобы прийти к полному убеждению, что этот полет не требует никакой работы, но все же теперь имеется уже очень много наблюдателей, проникнутых убеждением, что парение птиц не сопровождается никаким напряжением и представляет собой, хотя и в высшей степени удивительный, но все же несомненный, факт.

Как уже было сказано раньше, к птицам, умеющим парить без ударов крыльями, относятся в особенности хищные, болотные и морские птицы. Это, однако же, не исключает способности к парению и многих других видов птиц, образ жизни которых не приспособлен к парению. Однажды я был поражен, увидев большую стаю ворон, описывающую продолжительное время красивые круги на значительной высоте, тогда как прежде я думал, что воронам совершенно неизвестен этот вид полета.

Производство самого парения, однако же, несколько разнится у отдельных видов птиц.

Хищные птицы обыкновенно кружатся и, как общее правило, сносятся ветром, т. е. круги получаются не сомкнутые, но в комбинации с движением ветра они дают циклоидальные кривые. Кажется, что этот вид парения произвести легче всего, потому что вообще все птицы, умеющие парить, знакомы с этим видом парения.

Нельзя вполне отрицать возможности того, что, двигаясь по подобным, слегка наклоненным кривым, птицы пользуются различием в скоростях ветра на различных высотах, благодаря чему кружение несколько облегчает производство самого парения. Во всяком случае, разница в высотах, а вместе с тем и разница в скоростях ветра не могут быть настолько значительными, чтобы парение могло основываться исключительно только на этом, тем более, что нам известно, что подъемного действия ветра, в соединении с благоприятными свойствами вогнутых летательных

поверхностей в отношении к сопротивлению, вполне достаточно для поддержания птиц без ударов крыльями.

Что кружение при парении представляет собой побочное явление, можно заключить и из того, что многие птицы парят, не кружась. Что должны мы сказать о соколах, которые целую минуту остаются неподвижными в ветре? Это спокойное стояние, должно быть, представляет собой особые трудности, потому что несомненно, что птиц, умеющих это делать, по крайней мере между не морскими птицами, весьма немного. Сокол при этом, очевидно, преследует цель возможно тщательнее выследить сверху свою добычу, потому что мы часто видим, как он внезапно из этого положения стремглав бросается вниз.

Кружная форма парения применяется другими хищными птицами тоже, по всей вероятности, для того чтобы лучше осмотреть весь район их охоты. Можно видеть, как эти птицы внезапно прекращают кружение и обрушиваются вниз на добычу.

Болотные птицы применяют кружение, кажется, только для того, чтобы достигнуть большей высоты. Для парения необходим ветер известной силы, который чаще встречается лишь в верхних слоях атмосферы, а так как кружение, по-видимому, облегчает парение, то оно может быть выполнено при несколько менее сильном ветре. Когда болотная птица достигла достаточной высоты, то часто можно видеть, как она при помощи парения прямо направляется к своей цели. Эту форму движения весьма часто можно наблюдать у аистов. Но особенно хорошо известно это искусство парящим птицам, живущим на берегу моря или в открытом океане. Форма крыльев у этих птиц кажется в особенности хорошо приспособленной к парению. Кроме кружения они могут выполнять и всякое другое движение парением; можно видеть иногда этих птиц спокойно висящими в воздухе и пользующимися для поддержания себя ветром. Для всех этих движений не требуется какого-нибудь особенного развития силы, нужно только присутствие правильно устроенных крыльев и ловкость или чутье со стороны птиц в умении приспособить положение крыльев по отношению к ветру.

Весьма вероятно, что употребленные нами для опытов поверхности если и имели существенно необходимые качества для парения, то все же далеко не обладали теми тонкостями, которые требуются для действительного парения. Поэтому производство предварительных опытов далеко еще нельзя считать законченным. Но из приведенных опытов видно, что стоит потрудиться продолжать исследования указанным путем для того, чтобы не только уяснить себе идеал всех форм движения, объясняющих свободное парение, без всяких усилий со стороны птицы, но также и для того, чтобы применить их и для человека.

Если мы еще раз спросим себя, на чем основывается возможность парения, то прежде всего должны указать на соответственную вогнутость, потому что только для крыльев с соответственно вогнутым сечением, перпендикулярным их продольной оси, происходит такое благоприятное сопротивление воздуха, что при этом почти нет составляющей силы, поглощающей скорость поступания. Но к этому должен присоединиться еще какой-то фактор, потому что одних только свойств поверхности недостаточно для того, чтобы создать продолжительное парение. Ветер должен дуть по меньшей мере с умеренною скоростью, и, благодаря его восходящему направлению, он должен изменять направление сопротивления воздуха так, чтобы птица превратилась в змей, для которого не только не требуется шнура, но который даже свободно двигается против ветра.

Здесь следует упомянуть еще о некоторых опытах, направленных к тому, чтобы разъяснить это дело.

Мы часто устраивали змей, которые походили на птичьи крылья не только по своему контуру, но также и по вогнутости поперечного сечения. Подобные змеевые поверхности держали себя совершенно иначе, чем обыкновенные бумажные змеи.

Но и обыкновенные бумажные змеи обладают различными свойствами в зависимости от их конструкции.

Прежде всего следует упомянуть о том, что змей с поперечиной *a* (рис. 61) поднимается не так легко, как змей без поперечины. Боковой вид змеев дает этому объяснение. Змей с поперечиной, рассматриваемый сбоку на рис. 62, обнаруживает две вогнутости, тогда как у змея без по-

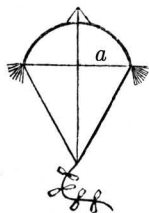


Рис. 61.



Рис. 62.

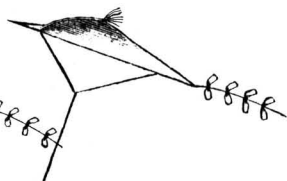


Рис. 63.

перечины, видимого также сбоку на рис. 63, образуется одна и притом большая вогнутость, которая придает змею более выгодную форму, так как каждая половина его более приближается к общему виду вогнутого птичьего крыла. Разница в действии обнаруживается тем, что последний змей, при той же длине шнура и при той же силе ветра, поднимается выше, нежели змей рис. 62. Это происходит вследствие того, что змей рис. 63 становится под более тупым углом к горизонту, нежели змей рис. 62, ибо на рис. 63 подъемная сила ветра будет больше по отношению к задерживающей, нежели на рис. 62.

Замечательная подъемная сила японских змеев происходит также вследствие вогнутости их крыльев.

Если желают получить еще более выгодное соотношение между подъемным и задерживающим действием, то следует придать змею заостренное очертание птичьих крыльев. Мы устроили подобный змей, как показано на рис. 64, из взаимно скрепленных прутьев *a*, *b*, *c* и *d*, а поверхности были сделаны из материи, стянутой шнурами при *e*, *f* и *g*.

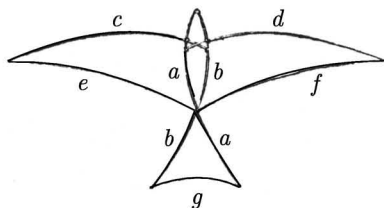


Рис. 64

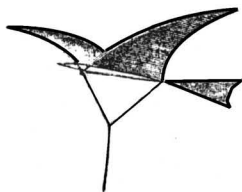


Рис. 65

Подобный змей с распростертыми крыльями становится (рис. 65) почти горизонтально, а удерживающий шнур принимает почти перпендикулярное направление к змею.

Но можно достигнуть еще лучших результатов, если сделать крылья подобного змея жесткими, так что вогнутость поверхности будет обуславливаться не ветром. Для этого нужно ввести в крылья в поперечном к ним направлении легкие изогнутые ребра, обтягивание которых и даст надлежащую вогнутость.

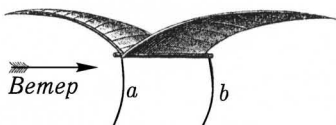


Рис. 66

Мы укрепили к подобному змею (рис. 66) два шнура *a* и *b* таким образом, что явилась возможность по произволу изменять наклонение змея в воздухе, смотря по тому, будет ли притянут шнур *a* или шнур *b*. Аппарат, приведенный при помощи шнура *a* в горизонтальное положение, начинал плыть вперед против ветра, не опускаясь вниз. Но было невозможно долго поддерживать это парение, потому что при движении вперед шнуры ослабевали, как показано на рис. 66, и ничтожное изменение ветра нарушало равновесие змея. Только один раз могли мы наблюдать дольше свободное парение против ветра, случайно дувшего равномерно в продолжение довольно большого промежутка времени. Произошло это при следующих обстоятельствах.

Несколько раз заставляли мы змей свободно парить до тех пор, пока он не выходил из положения равновесия и снова не отгонялся ветром. В течении одного из этих опытов парение против ветра продолжалось несколько дольше, так что мы были вынуждены выпустить шнуры. Тогда змей, не падая, полетел против ветра, имевшего скорость 6 м, и перегнал нас, бежавших со всех сил против ветра. Один из волочившихся шнуров, однако же, запутался в траве, по-

крывавшей равнину, и змей, пролетев около 50 m, потерял равновесие и упал.

После этого опыта, приведенного в сентябре 1874 г. на равнине между Шарлоттенбургом и Шпандау, мы возвратились с убеждением, что парение возможно не для одних птиц и что по меньшей мере и для человека существует возможность произвести искусственным путем подобный вид полета, который требует только ловкого управления, но не вызывает усиленной работы крыльями.

### § 38. Птица как образец

Если мы стремимся найти принципы, облегчающие полет, и таким образом создать человеку возможность летать, то за образец мы должны принять птиц; это вытекает из всех приведенных до сих пор результатов опытов.

Мы видели, что при действительном полете птиц является так много бросающихся в глаза благоприятных механических моментов, что если мы не захотим ими воспользоваться, то придется раз и навсегда отказаться от возможности свободного полета.

Поэтому будет уместно еще раз поближе рассмотреть особые явления, замечаемые при птичьем полете.

Если мы примем за образец птиц, то само собой разумеется, что мы должны обратить наше внимание не на тех из них, у которых крылья становятся почти утратившими значение органами. Маленькие птички вроде ласточки тоже дадут нам мало поучительного, несмотря на то, что мы должны удивляться их искусству и ловкости при полете. Они чересчур малы, и их непрерывная беготня за насекомыми требует слишком много неуловимых движений.

Избирая породу птиц, которая в этом деле могла бы служить нам наилучшим образцом, можно остановиться, например, на чайке.

Этих птиц легко наблюдать сколько угодно на морском берегу, так как вследствие того, что за ними очень мало охотятся, они очень доверчивы по отношению к человеку и пролетают столь близко около наблюдателя, что их почти что можно схватить руками. При благоприятном освещении, на расстоянии каких-нибудь нескольких шагов, легко

различить каждое малейшее движение их крыльев и затем, освоившись со своеобразными явлениями сопротивления воздуха при полете птиц, можно понемногу решить загадку их прекрасного полета. Что будет наблюдеено у чайки, то в большей или меньшей степени может быть отнесено и ко всем прочим птицам, и ко всем летающим животным вообще.

Как же однако летает чайка? Обыкновенно воздух у моря находится в движении, и чайки поэтому большей частью имеют возможность парить в воздухе, лишь изредка прибегая к помощи ударов крыльями; иногда они кружатся, двигаются вправо или влево, то поднимаясь, то опускаясь, с головой, наклоненной вниз, разыскивая глазами добычу на водной поверхности, кишашей пищей.

Удары их стройных слегка выгнутых крыльев, на первый взгляд, весьма своеобразны, а именно — они имеют весьма мягкий и эластичный характер, благодаря тому, что двигаются вверх и вниз, по преимуществу, только концы крыльев, тогда как более широкая, прилегающая к телу плечевая часть крыла принимает только слабое участие в этом движении, картина которого и показана на рис. 67.

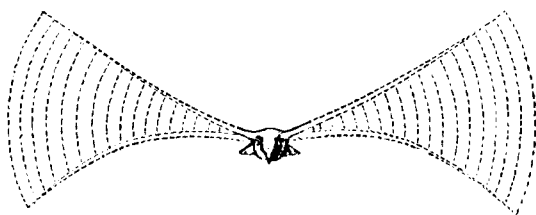


Рис. 67

Не показывает ли нам чайка опять тот путь, которым достигается облегчение полета и сбережение сил? Не видно ли из подобного рода движения, что чайка своими слабо двигающимися вверх и вниз плечевыми частями крыльев спокойно парит, тогда как легко вращающиеся кистевые части крыльев, состоящие из маховых перьев, восполняют затраченную поступательную скорость? Становится оче-



видным, что на ближайшей к телу широкой части крыльев лежит задача нести тело, производя лишь слабый удар и небольшую работу, тогда как более узкие концы крыльев, при значительно более сильном ударе, доставляют поступательную силу и уравнивают как сопротивление воздуха телу птицы, так и задерживающую составляющую сопротивления воздуха, развиваемую плечевой частью крыла.

Если это верно, то мы должны поражаться целесообразностью и законченностью летательного органа, проявляющимся в высшей степени в птичьем крыле, которое, производя движение вверх и вниз околоплечевого сочленения, как около центра вращения, одновременно, благодаря расчленению крыла, усиливает поднятие и опускание, равно как и вращение легких концов крыльев.

Плечевая часть крыльев тяжела; она содержит кости, мускулы и сухожилия и поэтому представляет, вследствие инерции, большое сопротивление каждому быстрому изменению движения. Это более широкая часть крыла зато хорошо приспособлена для опоры, потому что, находясь вблизи около тела и образуя небольшое плечо для сопротивления воздуха, она вызывает сравнительно малый момент изгиба всего крыла. Напротив того, кисть крыла легка, как перо, потому что, собственно говоря, она состоит почти что из одних перьев, и поэтому она не может быть повреждена от быстрых подниманий и опусканий. При более сильном взмахе крыла соответственно возросло бы производимое им сопротивление воздуха, что, в свою очередь, вызвало бы невыгодно распределенную сильную нагрузку крыльев и потребовало бы большей работы. Поэтому надо думать, что функция оконечностей крыльев состоит не столько в том, чтобы вызвать увеличение подъемной силы, сколько в том, чтобы создать, прежде всего, хотя бы и небольшое, но непременно пропеллирующее сопротивление воздуха.

И в самом деле, опыт не оставляет никакого сомнения относительно этого; наблюдая чаек при солнечном освещении, легко различить изменение в наклонении концов крыльев по происходящим световым эффектам, дающим отчетливое сверкание при каждом ударе. Происходит изменение в картине, изображенное на рисун-

ках 68 и 69, где первая показывает положение крыльев при подъеме и вторая — при опускании их. Удаляющаяся от нас чайка (рис. 68) обращает к нам, при подъеме крыльев, ярко освещенную солнцем их верхнюю часть, тогда как при их опускании (рис. 69) нам видна нижняя, затененная выгнутость. Очевидно поэтому, что конец крыльев поднимается вверх с приподнятым и опускается вниз и опущенным передним ребром, оба эти обстоятельства указывают на развитие пропеллирующей силы.

Поднятие крыла чайки

Рис. 68



Рис. 69



Опускание крыла чайки

Опытный наблюдатель заметит и по приближающейся к нему чайке, какую роль при ударах крыльев играют их концы.

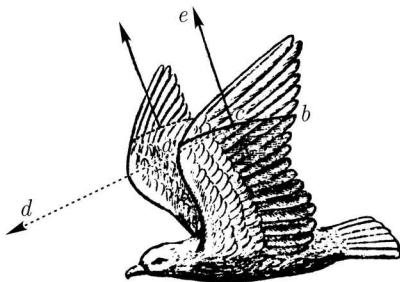


Рис. 70

На рис. 70 изображена сбоку чайка в период опускания крыльев. Ее крыло на конце имеет поперечное сечение  $acb$ , наклоненное вперед; абсолютное направление этой части

крыла будет *cd*, а *se* изобразит сопротивление воздуха; отсюда видно, что оно, кроме подъемного действия, производит еще и пропеллирующую силу.

Однако нельзя считать за общее правило, что при подъеме крыла оно во всех своих частях играет подобную же роль, т. е. служит для толкания вперед. Если бы это было так, то произойти это могло бы лишь, безусловно, за счет развивающегося одновременно с этим давления книзу. Может быть, это и происходит в известной степени тогда, когда птице необходимо почему-либо развить особенно большую скорость поступания.

Вообще же подъем крыла может происходить при таком угле наклона, что не появляется давления ни сверху, ни снизу; наконец, удар может быть произведен даже и так, что, благодаря ему, появится подъемная сила. В последнем случае произойдет то замечательное обстоятельство, что в продолжение всего времени полета все части крыла будут действовать поднимающим образом, а мы уже видели ранее, какое благоприятное влияние оказывает это на сбережение работы при полете.

Во всяком случае, при подъеме крыла его подъемное действие будет значительно слабее, нежели при опускании, но для птицы выгоден даже и тот случай, когда при подъеме крыльев получится сопротивление, достаточное для поднятия крыла и для преодоления его инерции, так что птица как бы не расходует на это никакой силы.

Возможно допустить также и то, что во время поднятия у птицы, летящей вперед, крыло изгибается так, что на плечевой приподнятой части его образуется подъемная сила, тогда как на конце крыла является ряд сопротивлений, наклоненных вперед и книзу, как это показано на рис. 71. Вредные силы, наклоненные книзу, имеющие место, на концах крыльев, уничтожаются и делаются безвредными благодаря сопротивлениям, развивающимся на плечевой части крыла.

Итак, мыслимо предположить, что при гребном полете во время подъема крыла развивается даже некоторая подъемная сила, между тем как не только нет никакой задержки для поступательного движения, но даже, может быть, имеет место небольшой избыток пропеллирующей силы.

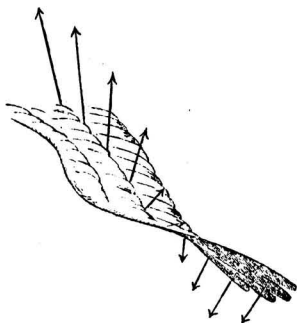


Рис. 71

Простой численный пример показывает, что у поступательно движущейся птицы даже при подъеме крыла сопротивление воздуха действует поднимающим образом; для этого стоит только сравнить замечаемое колебание вверх и вниз центра тяжести во время ее полета с тем колебанием, которое должно было бы произойти, если бы птица поднималась только благодаря удару крыльев вниз.

При гребном полете большой чайки, даже при безветрии, колебание это достигает едва 3 см, тогда как оно должно было бы достигнуть 10 см во время каждого двойного удара крыльев, при  $2\frac{1}{2}$  ударах, сделанных ею в секунду.

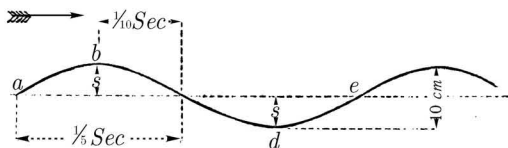


Рис. 72

Волнообразная линия на рис. 72 дает изображение абсолютного пути центра тяжести чайки, летящей слева направо, в том предположении, что только удар крыльев вниз порождает подъемную силу, тогда как удар вверх не сопровождается существенным сопротивлением.

Допустив, что поднятие и опускание крыльев требуют одинакового промежутка времени, найдем, что на каждое из них потребуется  $\frac{1}{5}$  секунды.

В *a* чайка начинает поднимать свои крылья; приобретенное ею ранее движение, направленное вверх, теряется под влиянием ее веса и превращается в опускание. Во время поднятия крыльев центр тяжести чайки описывает

параболу  $abc$ ; для движения от  $a$  до  $b$  и от  $b$  до  $c$  чайке нужно время в  $\frac{1}{10}$  секунды. По законам падения, каждое тело должно пройти в  $t$  секунд путь  $s = \frac{1}{2}gt^2$ , где  $g$  есть ускорение силы тяжести, равное  $9.81 \text{ m}$ , а потому в  $\frac{1}{10}$  секунды чайка должна упасть на  $s = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{100}$  или, приблизительно, на  $0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$ , и следовательно, дуга  $abc$  имеет подъем в  $5 \text{ cm}$ .

Затем дело изменяется, крылья ударяют вниз, производя сопротивление воздуха, равное удвоенному весу чайки, так что остается свободная подъемная сила, равная весу чайки. Поэтому центр тяжести чайки должен описать теперь такую же точно, но только обращенную выпуклостью вниз дугу  $cde$ , которая опускается также на  $5 \text{ cm}$ . Подъем и опускание вместе составят  $10 \text{ cm}$ , как это утверждалось ранее. Если поднятие крыльев происходит быстрее опускания, то хотя вычисление дает другие результаты, но все же даже при подъеме, продолжающемся  $\frac{2}{5}$  периода опускания, мы получим величину колебания центра тяжести в  $6 \text{ cm}$ . Поэтому для того чтобы расчет сходиллся с наблюдением, необходимо допустить существование подъемной силы во время поднятия крыльев.

Поэтому мы должны смотреть на эту особенность ударного действия крыльев как на обстоятельство, содействующее выгодному распределению давления на крылья, и, следовательно, как на фактор, облегчающий полет.

У птиц, равно как и у прочих летающих животных, эта выгода происходит вследствие того, что их крылья производят колебательное движение, размах которого возрастает от начала крыльев к их оконечностям.

Таким образом, каждая часть крыла описывает в воздухе различные абсолютные пути. Части, ближайшие к телу, почти вовсе не колеблются и в нормальном гребном полете обладают одною горизонтальною скоростью; поэтому они исполняют ту же самую функцию, которую производит целое крыло при парении, и соответственно этому положение их будет такое, что они вызывают возможное большее давление воздуха снизу вверх и не дают значительной составляющей, задерживающей движение вперед. Происходящее, тем не менее, сопротивление воздуха, вызываемое телом птицы, вознаграждается тем,

что при ударе вниз концы крыльев, в их абсолютном, наиболее наклоненном к низу положении, изгибаются вперед и вызывают пропеллирующее сопротивление воздуха, причем сопротивление это достаточно велико для того, чтобы поддерживать желаемую поступательную скорость.

Части крыла, ближайшие к телу птицы, продолжают оказывать подъемное действие, разрезая воздух при подъеме крыльев, а в то же время наиболее удаленные части, производящие наибольший взмах, направляются косвенно кверху и изгибаются таким образом, что быстро могут прийти в верхнее положение, не вызывая при этом большого сопротивления. Поэтому мы думаем, что отдельные части крыльев опишут более или менее изогнутые волнообразные линии, как это показано на рис. 73, причем отдельные поперечные сечения крыльев примут изображенное на чертеже положение и произведут показанные на нем сопротивления воздуха. При этом можно допустить, что при подъеме крыла все его части действуют поднимающим образом.

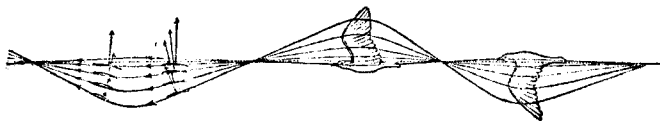


Рис. 73

Средние величины и направления этих сопротивлений должны быть таковы, чтобы ими были уравновешены, с одной стороны, вес птицы, а с другой — сопротивление воздуха, встречаемое телом птицы.

Для того чтобы произвести это явление, необходимо, чтобы крыло птицы при ударе им как вниз, так и вверх, поворачивалось незначительно у корня, немного посредине и сильно у оконечности.

Поворот произойдет при смене ударов сам собой. Во время изменения положения крыльев, на что, конечно, требуется некоторый промежуток времени, может быть, про-

исходит некоторая потеря, а именно — у концов крыльев, где вращение наиболее сильно. Эта потеря должна быть тем менее, чем крылья уже. Примером может служить альбатрос, у которого ширина крыльев составляет всего около  $\frac{1}{8}$  их длины.

С этой целью, по-видимому, для птиц с широкими крыльями, как, например, у хищных и у болотных птиц, природа выработала расчленение образованием маховых перьев, так что замкнутая часть крыла вынуждена производить лишь слабые вращения, тогда как наиболее сильные производятся каждым маховым пером в отдельности.

Поэтому та роль, которую играют концы нераздельных крыльев чайки, у птиц с развитыми маховыми перьями выполняется, по всей вероятности, отдельными маховыми перьями. Отдельные маховые перья, как это и наблюдается на деле, должны образовать на концах одиночные узкие вогнутые крылья, которые для того, чтобы иметь возможность вращаться в достаточной степени, не должны взаимно покрывать друг друга.

Кто внимательно наблюдал полет аистов, тот мог заметить подобное действие маховых перьев, причем просвет между растопыренными концевыми перьями при постепенном поднятии и опускании крыльев то открывается, то закрывается.

Конструкция подобных маховых перьев и резкие разделения сомкнутой части крыла от другой, с отдельными вращающимися перьями, ясно показывают, насколько целесообразно поступила природа в данном случае.

Это хорошо видно из рис. 74, на котором изображено маховое перо кондора в  $\frac{1}{7}$  его натуральной величины.

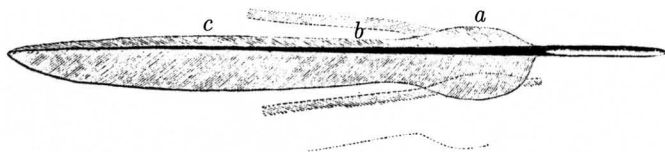


Рис. 74. Маховое перо кондора в  $\frac{1}{7}$  натуральной величины.

Бородка пера около стержня имеет ширину в 75 mm; из поперечного сечения при *a*, изображенного на рис. 75, видно, что смежные перья взаимно плотно прикрывают друг друга снизу и образуют вполне сомкнутую поверхность.



Рис. 75

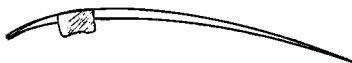


Рис. 76

Удлиненная передняя часть перьев снабжена с обеих сторон значительно более узкими бородками, а именно: около точки *b* ширина пера 48 mm, а в *c* — 55 mm. Поперечное сечение этой более узкой обособленной части крыла изображено на рис. 76 в  $\frac{5}{6}$  натуральной величины, для того чтобы дать точное представление об его параболической вогнутости; притом оно изображено в нагруженном состоянии, предполагая кружащегося кондора покоящимся в воздухе. К тому же подобные бородки настолько крепки, что, даже при значительном продольном изгибе перьев, поперечное сечение бородки изменяется лишь весьма мало.

Если мы поступим с подобным маховым пером, как показано на рис. 36 в разделе 27, то заметим кручение пера, возрастающее от основания пера к его концу, происходящее вследствие того, что задняя бородка значительно шире, нежели передняя, а именно, приблизительно, в 6 раз. Это скручивание пера находится в полном согласии с его функцией, состоящей в том, чтобы произвести сопротивления воздуха, содействующие поступательному движению.

Мы видим отсюда, что каждое отдельное маховое перо изображает из себя маленькое отдельное крыло, которое в состоянии выполнить свои целесообразные движения, состоящие в обособленных вращениях.

Наиболее ясно можно видеть все это, рассматривая поперечное сечение маховых перьев кондора, изображенное на рис. 77 и 78 при опускании крыла.

Уширение маховых перьев к концу (смотри точку *c*, рис. 74) в особенности указывает на их самостоятельное действие. Очевидно, оно имеет целью возможно лучшее





Поперечное сечение механизма махового пера

использование поверхности при свободном повороте перьев, расположенных радиально.

Отсутствие у птиц сухожилий и мускулов, которые выполнили бы эти изолированные вращения перьев, которые не могут быть произведены также сжиманием и разжиманием кожных гнезд, в которых укреплены стволы перьев, по всей вероятности, вознаграждается тем, что каждое маховое перо имеет спереди узкую, а сзади широкую бородку. Природа ничего не делает бесцельно. Конструкция этих маховых перьев ясно показывает их назначение, состоящее в том, чтобы закончить большое, широкое, замкнутое крыло несколькими отдельными, узкими, более легко вращающимися крыльями, которые, однако же, не должны взаимно прикрывать друг друга, для того чтобы задние нижние бородки могли прижаться кверху, если не с помощью мускульной силы, то давлением воздуха на эти бородки при ударе крыла вниз. В устройстве махового аппарата у всех больших хищных и болотных птиц это составляет главную особенность, значение которой очень трудно объяснить себе иным путем.

Мы не можем расстаться с этой темой, не возвратившись еще раз к птице, которая как бы создана служить человеку образцом летания, к птице, относящейся к разряду наиболее крупных в нашей части света и которую нам легче всякой другой наблюдать в ее естественном состоянии при полной свободе ее движений. Я имею в виду аиста, который ежегодно возвращается в наши равнины из своей второй родины, находящейся далеко в глубине Средней Африки; того аиста, который рождается на наших домах,

проводит дни своей юности на наших крышах и обучается своими родителями летанию над нашими головами.

Кажется, точно аист и создан собственно для того, чтобы возбудить в человеке стремление летать и чтобы служить ему наставником в этом искусстве; как будто слышится его обращение к нам:

«O, sieh, welche Wonne hier oben uns blüht,  
Wenn kreisend wir schweben im blauen Zenith,  
Und unter uns dehnt sich gebreitet  
Die herrliche, sonnenbeschienene Welt,  
Umspannt vom erhabenen Himmelsgezelt,  
An dem nur Dein Blick uns begleitet!

Uns trägt das Gefieder; gehoben vom Wind  
Die breiten, gewölbten Fittige sind;  
Der Flug macht uns keine Beschwerde;  
Rein Flügelschlag stört die erhabene Ruh'.  
O, Mensch, dort im Staube, wann fliegest aust Du?  
Wann löst sich Dein Fuss von der Erde?

Und senkt sich der Abend, und ruhet die Luft,  
Dann steigen wir nieder im gldigen Duft,  
Verlassen die einsame Ilöhe.  
Dann trägt uns der Flügelschag ruheg und leicht  
Dem Dorfe zu, ehe die Sonne entweicht;  
Dann suchen wir auf Deine Nähe.

So siehst Du im neidrigen Fluge uns ziehn  
im Abendrof über die Gärten dahin.  
Zum Neste kehren wir wieder.  
Auf heimischem Dache dann schlummern wir ein,  
Und träumen von Wind und von Sonnenschein,  
Und ruh'n die befiederten Glieder.

Doch treibt Dich die Sehnsucht, im Fluge uns gleich  
Dahinzuschweben, im Lüftebereich  
Die Wonnen des Flug's zu geniessen,  
So sieh' unsern Flüdelbau, miss unsre Kraft,  
Und such' aus dem Luftdruck, der Hebung uns  
schafft,  
Auf Wirkung der Flügel zu schlissen.

Dann forsche, was uns zu tragen vermag  
Bei unserer Fittige mässigem Schlag,  
Bei Auadauer unseres Zuges!  
Was uns eine gütige Schöpfung verlieh,  
Draus mögest Du richtige Schlüsse dann zieh'n,  
Und lösen die Rätsel des Fluges.

Die Macht des Verstandes, o, wend' sie nur an,  
Es darf Dicht hindern ein ewiger Bann,  
Sie wird auch im Fluge Dich tragen!  
Es kann Deines Schöpfers Wille nicht sein,  
Dich, Ersten der Schöpfung, dem Staube zu weih'n,  
Dir ewig den Flug zu versagen!»

«О, посмотри, что за восторг над нами, здесь наверху, когда мы, кружась, парим в голубом зените, а под нами расстилается чудный вид, освещенный солнцем и окруженный небесным шатром, куда ты можешь следить за нами только взорами.

«Нас поддерживают крылья; эти широкие, выпуклые перья, приподнятые ветром; полет нисколько не затрудняет нас; ни один удар крыла не возмущает нашего величественного покоя. О, человек, копошащийся в пыли, когда же полетишь и ты? Когда нога твоя покинет землю?

«Вот наступает вечер; воздух спокоен, и мы покидаем одинокие вершины и спускаемся в золотистом тумане. Тогда спокойно и тихо удары крыльев несут нас в деревню до заката солнца, и мы ищем твоего соседства.

«Тогда ты видишь, как мы низко летим с вечерней зарей над садами и возвращаемся в наши гнезда. Тогда мы засыпаем на родимой крыше, и во сне грезятся нам ветер и солнечное сияние, а наши оперенные члены отдыхают.

«Если и ты одержим желанием сравняться с нами в парении и хочешь испытать прелесть полета в воздушном океане, то взгляди на строение наших крыльев, измерь нашу силу и постарайся определить действие крыльев по тому движению воздуха, которое создает нам опору.

«Исследуй, что может поддерживать нас при умеренном ударе наших крыльев и при продолжительном нашем полете. Ты мог бы ведь сделать правильные заключения из того, чем нас снабдил милосердный Творец, и таким образом решить задачу летания.

«О, обратись к силе разума; он поддержит тебя и в полете; не будет же вечно проклятие тяготеть над тобой! Воля твоего Творца не может быть такой, чтобы обречь тебя, перл создания, вечно пресмыкаться в пыли и навсегда лишит тебя возможности летать».

В самом деле, для чего же собственно аист ищет близости человека? Он не нуждается в защите человека; ему некого бояться во всем царстве животных, а куница, равно как и кошки, которые могут повредить его выводку, чаще появляются на крышах, нежели в лесной чаще. Но и эти животные остерегаются беспокоить его, потому что удары его клюва угрожают смертью и, по меньшей мере, лишением зрения. Родственный с ним черный аист, не разделяющий его склонности к человеку, хотя в неволе делается тоже ручным, оставляет на его долю в лесу достаточно деревьев, на которых он мог бы строить свои гнезда прочно и крепко. Значит, не потребность в жилище заставляет его искать убежища на деревьях или на крышах деревень и городов. Может быть, голос человека, его пение привлекают аиста и заставляют искать его близости, или, может быть, аист любителю на человеческие деяния и творчество? Не понимая своеобразного языка аистов, кто даст верный ответ?

Во всяком случае, эта дружба между человеком и аистом и эта совместная жизнь ведутся искони веков; нам остается только радоваться, что одна из самых древних птиц и в то же время лучших летунов — сама ищет человека; все равно, есть ли это последствие разума, случайности или суеверия, но именно тогда, когда прелестное небо теплого времени года как бы манит нас в свои объятия, аист предоставляет человеку возможность любоваться своими крыльями с их мягкими и красивыми движениями, как бы давая нам урок летания.

Большой город, однако же, не привлекает аиста; он чувствует себя всего лучше в тихих деревнях, и там он выказывает чрезвычайную доверчивость к человеку, который всегда падает его. Его можно видеть ищущим пищу в непосредственной близости с земледельцем. По высокой пашне, скрывающей много лакомых кусочков, он не может

ходить, равно как и взлетать с нее, а потому он составляет компанию жнецам для того, чтобы на освободившейся поверхности, образовавшейся непосредственно за ними, разыскивать гадов. Он знает, что мыши скрываются под мешками с картофелем, и потому, когда телеги нагружаются мешками с молодым картофелем, он подбирается к ним, и иногда ему удается препроводить в свою глотку полевую мышь. Ввиду столь полезной деятельности аиста земледелец был бы глупцом, если бы он не берег и не приручал его к себе, насколько это возможно. Эта практическая сторона дела, кроме того, доставляет жителю деревни удовольствие ежедневно любоваться красивым полетом своего друга.

Действительно, не мудрено, что крестьяне, видя каждое лето над своими головами большой полет птиц с распростертыми крыльями в 2 m шириной, приобретают живейший интерес к искусству летания. Но крестьянин боится, что его сочтут за вертопраха, если узнают, что он занимается подобными пустяками. Несмотря на это, ни одно обстоятельство не побуждало так сильно автора этой книги строить легкие двигательные машины, как именно эта, постыдно скрываемая в секрете цель.

Если наблюдения над диким аистом, если он только вообще может заслуживать подобное название, дают много поучительного, то общение с прирученными аистами становится интересным и назидательным в высшей степени. Молодого аиста, только что вынутого из гнезда, легко вскормить мясом и рыбой, и тогда он очень сильно привывает к своему воспитателю; его доверчивость растет до того, что он даже не уклоняется от ласкающей руки своего господина.

Упражнения в полете этих молодых прирученных аистов дают материал для самых разнообразных наблюдений. Жилище юных аистов обыкновенно переносится с крыши отдаленных деревень в сад, где они оказываются очень полезными, так как поедают гадов. Из гнезда, содержащего обыкновенно 4-х птенцов, трудно получить более, чем одного, потому что обладатели гнезд аистов сильно привязываются к своим домашним друзьям и, вообще говоря, ни за какую цену не согласятся потревожить семейство аистов. Поэтому нужно считать за особую любез-

ность, если дадут взять из гнезда хотя бы одного птенца. Достать нескольких молодых аистов можно лишь из нескольких гнезд, а чаще всего даже из нескольких деревьев. Это становится необходимым и в том случае, когда желают случить домашних аистов, потому что аист ненавидит кровосмешение, и брат с сестрой, никогда не соединяются в пару.

Итак, молодые ручные аисты вырастают в саду или в парке, а большие лужайки служат им опытным полем для упражнения в полете.

Утром аисты, прежде всего, разыскивают на зеленом лугу насекомых и улиток, и если где-нибудь дождевой червь после своих ночных прогулок выставляет свою заостренную головку из земли, то он будет немедленно усмотрен их острыми глазами, даже в самой густой траве, выловлен концом клюва так осторожно, чтобы он не разорвался, и затем аппетитно препровожден в глотку. Затем начинается урок летания, причем прежде всего исследуется направление ветра. Как на крыше, так и здесь, все упражнения выполняются против ветра. Но ветер здесь дует не с таким постоянством, как на крыше, и поэтому упражнение труднее. Порой, вследствие отражения от защищенной стороны, образуется более сильный воздушный вихрь, дующий то с той, то с другой стороны. Весело становится тогда смотреть на упражняющихся аистов, прыгающих с поднятыми крыльями и гонящихся за толчками ветра, имеющими место то сзади, то спереди, то, наконец, сбоку. Если таким путем удастся короткий взлет, то тотчас же раздается радостная трескотня. Если ветер дует постоянно с одной стороны через прогалину, тогда аисты взлетают против него с разбегами и прыжками, делают поворот и затем важно, вприпрыжку возвращаются на другой конец площадки, чтобы сызнова попытаться взлететь против ветра, облегчающего подъем.

Таким образом упражнения продолжают ежедневно. Сначала удастся при прыжке сделать только один взмах крыльев, потому что аист не успевает сделать второй, как уже его длинные ноги, осторожно выставленные, оказываются на земле. Но когда это препятствие преодолено, когда аист успевает сделать второй удар крыльями, не дотрагива-

ясь ногами до земли, и, следовательно, когда он не достигает земли при втором поднятии крыльев, тогда дело идет вперед исполинскими шагами; увеличившаяся скорость поступания облегчает полет, так что вскоре является возможность в один прием сделать 3, 4 и более взмахов крыльями один за другим; выходит это неуклюже, тяжело, но всегда счастливо, потому делается это всегда осторожно.

При низком тихом полете на местах, защищенных деревьями от ветра, аист кажется неловким и неумелым летуном, но, как только он поднялся над вершинами деревьев и почувствовал свежий ветерок под своими крыльями, тотчас же его полет становится уверенным и выносливым. Легко подметить, какое значение имеет ветер для птиц уже потому, что даже молодые аисты соблазняются ветром и стремятся, пользуясь им, избегать утомительных ударов крыльями и перейти к парению.

Благодаря этому неожиданному усовершенствованию в полете, я однажды потерял своих трех лучших летунов; мне нужно было отлучиться из дому всего лишь на три дня, и, не рассчитывая на столь быстрые успехи, я не сделал никакого распоряжения о том, чтобы аистов держать запертыми, хотя время отлета уже приближалось. При моем возвращении я, к своему крайнему прискорбию, узнал, что, благодаря более высокому полету и вследствие неожиданно наступивших ветряных дней, эти три аиста превратились в прекрасных летунов, тогда как до тех пор казалось, что им необходимо производить чрезвычайные усилия для их небольшого низкого полета; 31-го же июля они были увлечены к отлету пролетевшими мимо другими аистами.

Когда же я обратился к своим с вопросом, почему же после первого высокого полета, с которого, однако же, аисты вернулись вечером в птичник, их не стали держать запертыми, я получил ответ: «Если бы ты видел, как красиво полетели наши аисты, как они в последние дни стали подниматься все выше и выше, плавая в воздухе, то и у тебя самого не хватило бы духу держать их взаперти и помешать их прекрасным движениям, которых как бы жаждал взгляд их мягких черных глаз».

Аистом мы начали наше введение, он часто служил нам в виде примера, на нем же мы и произведем впослед-

ствии вычисления, которые покажут нам, каким естественным путем развиваются подъемные действия при полете, если появляются условия, принимаемые нами за способствующие полету, т. е. если мы введем в вычисления ту вогнутость крыльев, которая получается непосредственными измерениями, и те величины сопротивления воздуха, которые в действительности испытываются вогнутыми поверхностями крыльев при их движении в воздухе.

Зная явления сопротивления воздуха у тел, подобных крыльям, мы в состоянии, хотя до некоторой степени, определить зависимость между причинами и последствиями при птичьем полете. Формы и движения крыльев птицы укажут на те силы, которые действительно способны, по нашему мнению, поддерживать птицу в воздухе, а также сохранять скорость ее полета. Мы видели ранее, какое значение имеют для птицы крылья, удлиненные, заостренные к концам или расчлененные на маховые перья. Далее, мы видели, что во время быстрого поступания поднятие и опускание крыльев, представляющие из себя как бы движение маятника, сопровождаются скручиванием крыла около продольной его оси, причем наибольшее поддерживающее действие оказывают не концы крыльев, производящие наибольшие размахи, но, как раз наоборот, широкие части крыльев, лежащие вблизи тела птицы; эти части менее всего двигаются вверх и вниз, а между тем им принадлежит главнейшая роль при поддержании птицы в воздухе.

Природа, пользуясь этими формами движения птичьих крыльев, и развивает гармоническое взаимодействие сил, которое поражает нас, так что нам кажется бесполезной всякая попытка достичь иным путем того, что сама природа произвела так просто и, вместе с тем, так прекрасно.

### **§ 39. Аэростат как помеха**

Только научно образованные и практически подготовленные механики могут взять на себя решение вопроса летания, а между тем им занимаются почти все образованные классы общества без исключения; каждый созна-



ет, что существование полета чрезвычайно расширит простор для передвижения; на летающих животных каждый видит практическую выполнимость летания, и до сих пор не нашлось ни одного исследователя, который неоспоримыми доводами мог бы доказать, что человек не имеет ни малейшей надежды осуществить полет. При таких условия становится понятным, почему интерес к вопросу летания получил такое широкое распространение. Замечательно то обстоятельство, что именно призванные решить эту задачу относятся к ней гораздо более холодно и индифферентно, нежели те, которым значительно труднее вникнуть в сущность явления движения птицы при полете.

Деятельность технических кружков по этому вопросу отличается чрезвычайным равнодушием и совершенно не соответствует важности дела. В то время как все технические отделы систематически разработаны, в технике полета царствует полная разрозненность взглядов; обмен их весьма незначителен, и *почти каждый техник имеет свое особое мнение относительно летания.*

Причиной этому, как и вообще всей жалкой постановке вопроса, послужило, может быть, главным образом, изобретение аэростатов; как это ни странно звучит, все же не будет вполне праздным поставить такой вопрос: если бы аэростаты не были вовсе изобретены, то как отозвалось бы это на решении задачи полета?

Немыслимо, конечно, допущение, чтобы при успехах наук не явился бы исследователь, который не предложил бы применения легких газов для аэростатов, тем не менее, можно обсуждать то положение, которое занял бы в настоящую минуту вопрос о полете с аэродинамической точки зрения, если бы аэростатам не было придано особого значения для воздухоплавания.

В прежнее время за образец принималась исключительно птица, но первый же аэростат поставил весь вопрос о полете на совершенно иную почву. Конечно, когда первый человек поднялся с земли в воздух, сто лет тому назад, то это должно было подействовать ошеломляющим образом. Ничего нет удивительного в том, что тогда стали думать, что главная трудность преодолена и что достаточно незна-

чительных добавлений к аэростату для того, чтобы он, так уверенно поднимающийся в воздух, мог бы двигаться по желаемому направлению и, таким образом, мог бы быть применен к свободному перемещению в воздухе.

Неудивительно поэтому и то, что все стремления в области аэронавтики были направлены лишь к тому, чтобы сделать аэростат управляемым, и технически образованные кружки живейшим образом преследовали именно эту задачу. Все примкнули к уже полученным, осязаемым и даже подкупающим результатам, и, конечно, естественно, что никто не думал отказываться от подъемной силы аэростатов, признаваемой за чрезвычайно важный успех. Как соблазнительно было получить уверенность, что вот, после тысячелетних усилий, воздушный океан наконец открыл нам свои объятия. Конечно, казалось уже не трудным добавить новый элемент для свободного передвижения. Казалось, что дело стало только из-за какого-то *пустяка* и задача воздухоплавания будет окончательно решена.

Между тем, именно этот пустяк и оказался главной и притом непреодолимой трудностью, потому что мы все более и более убеждаемся в том, что аэростат всегда останется тем, что он есть, т.е. «средством высоко подняться в воздух, но никак не прибором, пригодным для практического и для свободного воздухоплавания».

Теперь, когда все более укрепляется взгляд, что приближается конец увлечения аэростатами, мы, собственно говоря, возвращаемся к первоначальной точке зрения по отношению к воздухоплаванию, т.е. к той самой, которой придерживались до изобретения аэростатов; поэтому невольно возникает вопрос, как далеко продвинулось бы вперед искусство воздухоплавания, если бы внимание не было отклонено от истинного направления на целые столетия и если бы чрезвычайные затраты ума и капитала, направленные на управляемость аэростатов, пошли бы действительно на пользу дела.

Ответ на подобные вопросы не может быть выражен в числах, но мы не можем отказаться от убеждения, что, не будь аэростатов, энергия в преследовании целей динамического летания была бы значительно сильнее, потому что

разочарование аэростатами повлекло за собой тот печальный скептицизм, в силу которого действительно призванные отшатнулись от идеи воздухоплавания; и вот в этой области исследования, где приходится систематически добиваться успеха шаг за шагом, многое то, о чем мы находимся в настоящее время в полном неведении, было бы давно уже выяснено.

Поэтому мы должны, по меньшей мере, признать, что аэростат никакой действительной пользы искусству свободного полета не принес, если уже не хотим идти дальше и считать его за тормоз в деле развития техники полета, так как он произвел раскол во взглядах, направил на ложный путь те исследования, которые должны были бы служить свободному полету.

Это ложное направление состоит, главным образом, в том, что начали искать постепенного перехода от аэростата к таким легким летательным приборам, которые были бы годны для скорого свободного передвижения в воздухе. Аэростат всегда оставался исходным пунктом, а его неуклюжая форма препятствовала достижению благоприятных результатов.

Между аэростатом и летательной машиной нет ничего среднего, годного для дела. Если мы хотим достигнуть действительного полета, то для этого *нет* постепенного перехода от подъема легкими газами к подъему ударами крыльев, а необходимо сделать *скачок* назад от аэростатики к динамическому летанию.

Предоставим аэростату его настоящее поле действия, которое будет всегда там, где нужно иметь возвышенную точку в виде привязанного аэростата для обозревания окрестности или для путешествия в высоких слоях атмосферы по направлению ветра. Воздухоплавание, в истинном значении этого слова, будет служить нам только тогда, когда мы будем в состоянии двигаться уверенно и скоро в воздухе туда, куда хотим *мы* сами, а не туда, куда несет *ветер*.

В достижении последней цели аэростат нам только помешал.

Это вредное влияние, однако же, исчезнет, если задачами, которые нужно решить, мы займемся усиленно и

серьезно, потому что не только многое, но почти все надо начинать сызнова.

Техники также присоединятся и выйдут из их почетного резерва; несомненно, что в настоящее время всеобщий интерес все более и более обращается к активному полету, и поэтому мы признаем настоящую минуту самой подходящей для того, чтобы передать во всеобщее сведение достигнутые нами в этой области, путем опыта, результаты.

## § 40. Расчет работы при полете

Теперь мы должны произвести выяснение работы полета на какой-либо большой птице, имея в основе изложенные в этом труде воззрения. Таким путем мы получим пример для практического применения величин сопротивления воздуха к телам с крыльями, подобными птичьим, ознакомление с чем и составляет главную цель этого труда.

Относительно диаграмм вообще следует сказать, что при основных опытах было приложено особое старание для определения сопротивления при наименьших углах, так что вблизи 0 градусов измерения производились через каждые  $1\frac{1}{2}^{\circ}$ .

Здесь идет речь о полете на месте в спокойном воздухе; он уже достаточно разъяснен примерами в 18-ом разделе; к тому же он не может быть произведен аистом, взятым нами за образец, и вряд ли когда-либо он будет применяться и человеком.

Мы будем исследовать действие сопротивления воздуха при парении и напряжении сил при гребном полете. При обоих этих видах полета встречаются только самые малые углы наклона поверхности крыльев относительно направления их движения.

Для примера взят аист, потому что наблюдать вблизи и столь же хорошо не удастся ни одной птицы, равной с ним по величине и по искусству летать.

Крыло на чертеже VIII, рис. 1 взято у нашего аиста, служившего для опытных целей, и именно у белого аиста, тогда как форма, изображенная посреди рисунка 35 (на стр. 94), взята у черного аиста. У последнего имеется на

каждом крыле 8 настоящих маховых перьев, тогда как у белого, которым мы теперь займемся, их всего 6.

Контур крыла получен посредством распластывания и срисовывания живого крыла аиста, которое и изображено в масштабе  $\frac{1}{9}$  на чертеже VIII.

Служивший для измерений аист весил 4 kg; его оба крыла вместе составляли поверхность в  $0,5 \text{ m}^2$ .

Прежде всего спрашивается, при каком ветре этот аист в состоянии парить без ударов крыльями.

На чертеже V поверхность крыльев, вогнутая надлежащим образом и распростертая горизонтально, испытывает давление воздуха, направленное вверх и составляющее, по чертежу VII,  $0,55$  того давления, которое испытывает плоская поверхность той же величины при ударе ее по нормали. Достаточно, чтобы давление воздуха, поднимающее парящую птицу, было тоже равно ее весу, а следовательно в данном случае равно 4 kg.

Называя искомую скорость ветра через  $v$ , из уравнения  $4 = 0,55 \cdot 0,13 \cdot 0,5 \cdot v^2$  получим  $v = 10,6$ .

Следовательно, при скорости ветра в  $10,6 \text{ m}$ , аист может парить в воздухе, допуская, что его крылья действуют столь же благоприятно, как и наши опытные поверхности; но так как, по видимому, они действуют лучше, то мы можем округлить полученную скорость и принять  $10 \text{ m}$  за *minimum* скорости для возможности парения. При этом крылья будут распростерты, приблизительно, горизонтально. В действительности птичьи крылья, как это было уже упомянуто в 37 разделе, находятся еще в более благоприятных условиях, так как давление воздуха дает еще небольшую пропеллирующую составляющую, которая достаточно велика для того, чтобы не только уравновесить давление ветра на тело аиста, но еще и придать этому телу поступание против ветра. Мы наблюдали аистов, которые без малейшего удара крыльями, не опускаясь вниз и не кружась, летели против ветра в  $10 \text{ m}$  со скоростью, по крайней мере, в  $10 \text{ m}$ . Следовательно, тело этих аистов испытывало сопротивление, которое соответствовало скорости в  $20 \text{ m}$ .

Когда аист стоит спокойно на одной ноге, причем сложенные крылья увеличивают его объем, а перья неплотно прилегают к телу, тогда измерение сечения его тела

даст  $0,032 \text{ m}^2$ . Когда же аист расправит свои крылья, а перья его плотно улягутся около тела, тогда форма его получается совершенно другая, и аист с его вытянутыми шеей, клювом и ногами кажется тонкой палкой, лежащей между могучими поверхностями крыльев. Тогда сечение тела становится равным  $0,008 \text{ m}^2$ , которое к тому же, благодаря клюву и шее спереди и хвосту сзади, имеет чрезвычайно выгодное заострение. Вследствие этой благоприятной формы, сопротивление воздуха наибольшему поперечному сечению должно получить уменьшающий коэффициент в  $\frac{1}{4}$ , и сопротивление тела по направлению полета будет равно  $W = \frac{1}{4} \cdot 0,13 \cdot 0,008 \cdot 20^2 = 0,104 \text{ kg}$ .

Потому, если аист парит против ветра с абсолютной скоростью в  $10 \text{ m}$ , то давление под его крыльями должно толкать его вперед с силой около  $0,1 \text{ kg}$ ; итак, давление ветра при подъемной составляющей в  $4 \text{ kg}$  должно иметь пропеллирующую составляющую в  $0,1 \text{ kg}$ , и, следовательно, оно должно находиться впереди нормали под углом  $\arctg \frac{1}{40} =$  приблизительно  $1,5^\circ$ .

Ничего нет невероятного в предположении, что, при более тщательном производстве опытов, мог бы быть обнаружен этот острый угол в сторону движения, хотя из приведенных опытов найдено, что сопротивление ветра направляется по нормали.

Но аиста ничто не заставляет парить как раз против ветра; подъемная составляющая скорости ветра является одинаковой при любом направлении движения и отдает ему свою живую силу для производства эффекта парения, если аист опережает окружающий воздух при парении хотя бы, приблизительно, на  $10 \text{ m}$ .

Подъемное направление ветра, обуславливающее парение, однако же, не всегда одинаково, а наоборот, как мы видели, постоянно колеблется вверх и вниз (смотри. рис. 3 на чертеже V). Надо помнить, что эти колебания происходят не только до высоты  $10 \text{ m}$ , до которой мы производили наши измерения, а, наверное, распространяются и на те высоты, на которых птицы производят свое продолжительное парение.

Поэтому мы видим, что парящие птицы постоянно поворачивают и поправляют свои крылья и принимают наи-

выгоднейшее положение в каждое данное мгновение, равно как и приспособляют свою скорость к постоянно изменяющейся скорости ветра.

Весьма вероятно, что кружение птиц также находится в связи с периодами изменения наклона ветра и его скорости, равно как и с приращением скорости ветра с высотой.

Неудивительно, что птицами ощущаются самые незначительные изменения в движении воздуха, потому что вся поверхность их принимает деятельное участие в этом движении. Их длинные, широко распростертые крылья образуют чрезвычайно чувствительный рычаг по отношению к коже, в местах прикрепления маховых перьев, где осязание столь же тонко, как и на концах наших пальцев.

Итак, при действительном парении главную роль играет ловкость, тогда как работа полета теоретически может быть приравнена нулю.

Если человек научится когда-либо подражать великолепным движениям парения птиц, то для этого ему не будут нужны ни паровые машины, ни электромоторы, а потребуется лишь легкая летательная поверхность, правильно устроенная и достаточно подвижная и, более всего, надлежащее упражнение в управлении ею. Умение правильно поставить крылья для достижения наибольшей и наивыгоднейшей подъемной силы должно и для человека стать делом осязания. Может быть, на это потребовалась бы *меньшая* ловкость, нежели та, которая необходима, чтобы сварить яичницу на высоко натянутом канате, но, во всяком случае, она принесла бы лучшие плоды; предприятие это было бы также не более опасно, если начать упражнения в парении на ветре с маленькими поверхностями и понемногу переходить к большим.

Наши канатные акробаты тоже иногда оказываются знакомыми с теми выгодами, которые им может доставить сопротивление воздуха. Несколько лет тому назад я видел в одном увеселительном заведении в Берлине, на площади Морица, молодую даму, прогуливающуюся по проволочному канату, причем она постоянно обмахивалась, как бы для охлаждения, исполинским веером. На наивных зрителей

это обмахивание веером производило впечатление чего, то весьма трудного, о чем свидетельствовали аплодисменты. От тех же, кто занимался сопротивлением воздуха, не могло ускользнуть то, что эта дама, так грациозно размахивающая веером, пользовались им для того, чтобы создать себе непрерывно невидимую точку опоры благодаря являющемуся при этом сопротивлению воздуха, и таким образом облегчала себе равновесие.

Если же ветер *не* достигает скорости 10 m и аисту нет возможности, посредством лавирования и кружения, воспользоваться разностью живых сил воздуха, притекающего с различными скоростями, и подняться при помощи одного парения без всякой затраты работы, тогда ему необходимо прибегнуть к ударам крыльями и там, где не хватает живой силы ветра, заменить ее собственной силой и создать искусственно подъемное сопротивление воздуха.

Теперь переходим к крайнему случаю, когда вовсе нет ветра и аист вынужден, как иногда случается при возвращении домой в тихий летний вечер, рассчитывать лишь на силу своих собственных крыльев. Тогда приходится воспользоваться величинами сопротивлений, определенных на чертеже VI.

Весь ход полета принимает тогда совершенно иной вид. Равномерное давление кверху, сопутствующее парению, заменяется теперь двумя другими, из которых одно действует при поднятии, а другое — при опускании крыла.

Составлять обыкновенное уравнение для гребного полета было бы бесполезно, потому что значение являющихся здесь сопротивлений воздуха не может быть выражено формулами, да кроме того очевидно, что хорошего результата можно достигнуть различными путями. Мы уже видели, насколько разнообразным может быть действие крыла при ударе и каким путем можно достичь более благоприятных результатов, если только соответственным образом приспособиться к этому удару. При выборе вида движения крыльев следует руководствоваться величиной скорости, которой нужно достичь.

Здесь мы разберем только тот случай, когда аист производит спокойный гребной полет при безветрии. В вычисление войдут несколько факторов, а именно:



1. Скорость полета.
2. Число ударов крыльями в секунду.
3. Распределение времени на подъем и опускание крыльев.
4. Амплитуда взмаха.
5. Наклонение отдельных профилей крыльев относительно соответственного абсолютного пути.

Первые 4 фактора легко могут быть установлены приблизительно простым наблюдением, что же касается 5-го, то вряд ли может его дать даже и моментальная фотография, и поэтому лучше всего при помощи вычислений попытаться определить наивыгоднейшие наклонения крыльев.

Речь идет, конечно, о том, чтобы найти тот случай, при котором требуется наименьшее развитие двигательной силы. При этом придется допустить, что аист при обыкновенном гребном полете выискивает такие положения крыльев, при которых он должен развить минимальную работу. Конечно, и скорость полета он выберет такую, которая не влечет за собой особого возрастания работы. Мы знаем, что полет на месте требует такой работы, что, вообще говоря, аист не в состоянии ее выполнить, тогда как, при увеличении скорости полета, работа убывает, но все-таки после достижения некоторой скорости она снова начнет возрастать, причем работа на рассекаание воздуха будет расти пропорционально кубу скорости полета; итак, должна существовать известная минимальная работа при некоторой определенной средней скорости, или же, что весьма вероятно, величины, весьма близкие к этой минимальной работе, получаются при обыкновенных скоростях полета птиц, изменяющихся в довольно широких пределах.

При безветрии аист пролетает от 10 до 12 m в секунду, так как он почти не отстает от пассажирских поездов умеренной скорости. Аист при этом производит 2 двойных удара крыльями в каждую секунду, а столь медленное движение дает возможность заметить распределение времени на подъем и опускание при помощи непосредственного наблюдения; можно допустить, что эти времена относятся между собой, как 2 : 3 и что, следовательно,  $\frac{2}{5}$  времени всего колебания идут на поднятие, а  $\frac{3}{5}$ , на опускание крыльев.

Четвертый фактор, т. е. амплитуда колебания, не может быть определен в виде обыкновенного угла, потому что сказанное ранее, в 38 разделе, о чайке относится равным образом и к аисту, а именно, что концы его крыльев описывают значительно больший угол, нежели плечевые части. Во всяком случае, здесь фотография могла бы оказать большую услугу для проверки того, принимает ли взмах хотя приблизительную форму, изображенную на рис. 2 чертежа VIII, которая положена в основу вычисления. Этот рисунок нарисован непосредственно на глаз, и такой вид аист представляет при полете как спереди, так и сзади.

На основании сделанных допущений можно, приблизительно, определить характер движения крыльев аиста.

Прежде всего, пользуясь известными нам действиями сопротивления воздуха, следует убедиться в том, может ли аист поддержать себя при полете ударами своих крыльев, и затем вычислить развиваемую им работу.

Для этого мысленно мы разбиваем поверхность крыла (рис. 1 черт. VIII) на 4 части: *A* — часть, соответствующая плечу, *B* — предплечие, *C* — сомкнутая часть кисти и *D* — сумма площадей пальцевых перьев. Размеры этих частей приведены на рисунке.

Мы допустим, что каждая из частей *A*, *B*, *C* и *D* двигается с равномерной скоростью и что сопротивление, определенное для их средних точек *a*, *b*, *c* и *d*, распределяется равномерно по всей соответствующей части поверхности крыла.

На рис. 2 изображен взмах крыла и подъемы точек *a*, *b*, *c* и *d* в масштабе  $\frac{1}{30}$ . Поднятие и опускание крыльев повлечет за собой соответственное опускание и поднятие тела аиста, нейтрализующее таким образом общее колебание массы птицы; так как подъем крыльев также в значительной степени участвует в создании подъемной силы, то в дальнейшем мы можем не обращать внимания на поднятие и опускание тела аиста. При умеренном взмахе и при короткости плечевой части средняя точка колебания ее с обеих сторон аиста будет находиться вблизи точки *a*. Поэтому поверхность *A*, приблизительно, описывает прямолинейный путь, а при рассматриваемом здесь горизонтальном полете и этот путь будет горизонтален.

В противовес этому, размах точки  $b$  будет 0,12 m, точки  $c$  — 0,44 m и точки  $d$  — 0,88 m, измеряя эти пути по дуге.

Если аист производит 2 удара в 1 секунду, пролетая путь в 10 m, то при одном колебании крыльев он подвигается вперед на 5 m и именно на 2 m при подъеме и на 3 m. при опускании. Если мы нанесем эти пути в масштабе  $\frac{1}{75}$ , а рядом и, соответственно уменьшенные, подъемы отдельных частей крыльев с рис. 2, то получим на рис. 4 чертежа VIII абсолютные пути, описанные в воздухе точками  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ ; пунктиром обозначен путь концов крыльев.

Теперь остается определить наклонения отдельных частей крыльев по отношению к их абсолютному пути и затем выделить тот случай, при котором аист не только мог бы летать, но и, кроме того, расходовал бы на это как можно меньше работы.

Для того чтобы произвести эти проверочные вычисления скорейшим путем, вычислим для поверхностей  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  как при подъеме, так и при опускании их, для ряда острых углов, больших и меньших нуля, сопротивления в виде подъемных и пропеллирующих составляющих и составим из них таблицы. Тогда мы получим необходимые данные для выбора углов, дающих наивыгоднейшие действия, и при помощи взаимного сопоставления найдем пригодный для применения материал.

Для примера вычислим сопротивления части крыла  $C$ , имеющей площадь в  $0,076 \text{ m}^2$ , при ее опускании, когда по отношению в своему пути она приподнята спереди на  $3^\circ$ . Чертеж VII дает относящийся к этому углу в  $3^\circ$  коэффициент 0,55. Скорость, благодаря наклонению пути, возросла до 10,1 m, и поэтому сопротивление будет иметь величину

$$0,55 \cdot 0,13 \cdot 0,076 \cdot 10,1^2 = 0,554 \text{ kg.}$$

Чертеж VII дает нам направление этого сопротивления. Если бы поверхность, приподнятая спереди на  $3^\circ$ , двигалась горизонтально, то давление воздуха, по рис. 1 чертежа VI, направилось бы назад под  $3^\circ$ , но так как поверхность  $C$  двигается вниз под углом в  $8\frac{1}{2}^\circ$ , то сопротив-

ление воздуха направится вперед под углом  $8\frac{1}{2} - 3 - 5\frac{1}{2}^\circ$  (см. рис. 5 на черт. VIII).

Отсюда мы получим для: подъемной составляющей  $0,554 \cdot \cos 5\frac{1}{2}^\circ = 0,551 \text{ kg}$ ;

пропеллирующей составляющей  $0,554 \cdot \sin 5\frac{1}{2}^\circ = 0,053 \text{ kg}$ .

Таким путем вычислены обе нижестоящие таблицы при подъеме и при опускании крыла. Числа изображают составляющие сопротивления воздуха, выраженные в килограммах, для соответствующих углов наклона. Горизонтальные составляющие, направленные вперед, обозначены положительными, направленные же назад — отрицательными числами.

#### П о д ъ е м

	A		B		C		D	
	Верг. сост.	Гор. сост.	Верг. сост.	Гор. сост.	Верг. сост.	Гор. сост.	Верг. сост.	Гор. сост.
+9°	0,634	-0,066	—	—	—	—	—	—
+6°	0,555	-0,044	0,610	-0,079	—	—	—	—
+3°	<b>0,436</b>	<b>-0,023</b>	0,479	-0,049	0,523	-0,145	—	—
0°	0,317	-0,019	<b>0,348</b>	<b>-0,040</b>	0,395	-0,112	0,260	-0,130
-3°	—	—	0,216	-0,034	<b>0,235</b>	<b>-0,077</b>	0,155	-0,089
-6°	—	—	—	—	0,135	-0,070	0,064	-0,052
-9°	—	—	—	—	—	—	<b>-0,015</b>	<b>-0,033</b>
(Вследствие ударного действия и сокращения) $\times 1,0$								$\times 1,0$

#### О п у с к а н и е

	A		B		C		D	
	Верг. сост.	Гор. сост.	Верг. сост.	Гор. сост.	Верг. сост.	Гор. сост.	Верг. сост.	Гор. сост.
+9°	0,634	-0,066	0,690	-0,048	0,808	+0,026	0,504	+0,086
+6°	<b>0,555</b>	<b>-0,044</b>	<b>0,610</b>	<b>-0,024</b>	0,707	+0,044	0,442	+0,088
+3°	0,436	-0,023	0,479	-0,008	<b>0,551</b>	<b>+0,053</b>	0,350	+0,082
0°	0,317	-0,019	0,348	-0,010	0,404	+0,034	<b>0,269</b>	<b>+0,060</b>
-3°	—	—	0,216	-0,016	0,252	+0,008	0,180	+0,030
-6°	—	—	—	—	0,150	-0,025	0,078	-0,001
-9°	—	—	—	—	—	—	0,011	-0,037
(Вследствие ударного действия)					$\times 1,75$		$\times 2,25$	

Подходящие отношения получатся, например, при подъеме, когда поверхности наклонены: A под +3°, B под 0°, C под -3° и D под -9°, тогда как при опускании для них же соответственные наклонения будут равны:

$+6^\circ$ ,  $+6^\circ$ ,  $+3^\circ$  и  $0^\circ$  по отношению к абсолютному пути; эти величины обозначены в таблицах жирным шрифтом.

Не следует упускать из виду увеличения сопротивления вследствие ударного действия у поверхностей  $s$  и  $D$ ; при этом однако же, следует принять во внимание, что крылья при подъеме несколько укорачиваются и стягиваются. Поэтому когда для подъема будем пользоваться числами, взятыми из таблицы, то нельзя считать преувеличенным, если мы для опускания крыльев увеличим табличные числа для  $C$  в 1,75, а для  $D$  в 2,25 раз и при этом пренебрежем сопротивлением крыльев во время их колебания.

Принимая все это во внимание, получим следующие две суммы для одного крыла:

При подъеме			При опускании		
	Вертикальное давление	Горизонтальное давление		Вертикальное давление	Горизонтальное давление
<i>A</i>	0,436	−0,023	<i>A</i>	0,555	−0,044
<i>B</i>	0,348	−0,040	<i>B</i>	0,610	−0,024
<i>C</i>	0,235	−0,077	<i>C</i>	0,964	+0,092
<i>D</i>	−0,015	−0,035	<i>D</i>	0,585	+0,135
kg	1,004	−0,175	kg	2,714	+0,160 <sup>15</sup>
Для 2 крыльев					
kg	2,008	−0,368 <sup>15</sup>	kg	5,428	+0,360 <sup>15</sup>

Если вычтем подъемное давление при поднятии крыльев из веса аиста, то останется

$$4 - 2,008 = 1,992 \text{ kg};$$

этот вес придавливает аиста книзу во время поднятия крыльев.

Мы уже видели на стр. 160, что тело аиста при парении и при относительной скорости воздуха в 20 m испытывает сопротивление в 0,1 kg, теперь же при скорости в 10 m это сопротивление, приблизительно, будет равна 0,025 kg. При поднятии крыльев это сопротивление присоединяется

<sup>15</sup>Прим. перев. Эти три итога не сходятся с теми данными настоящей таблицы, из которых они выведены. Но так напечатано в немецком оригинале, и мы не имеем возможности определить, где кроется ошибка.

к задерживающей составляющей, и полная задерживающая сила будет равна

$$0,368 + 0,025 = 0,393 \text{ kg.}$$

Поэтому во все время поднятия крыльев аист *придавливается* вниз с силой в **1,992 kg** и *задерживается* в поступании силой в **0,393 kg**.

Вредное действие этих сил должно быть уничтожено опускным ударом; так как он продолжается в  $\frac{3}{2}$  раза дольше, то в этот промежуток времени должны действовать следующие силы:

$$\text{Подъемное давление} \quad \frac{2}{3} \cdot 1,992 = 1,328 \text{ kg и}$$

$$\text{Пропеллирующая сила} \quad \frac{2}{3} \cdot 0,393 = 0,262 \text{ kg.}$$

Вычитая же из подъемной силы при опускном ударе вес аиста и из пропеллирующей силы сопротивление тела аиста, получим для промежутка времени, в который приходится опускной удар:

$$\text{Подъемное давление} \quad 5,428 - 4 = 1,428 \text{ kg и}$$

$$\text{Пропеллирующая сила} \quad 0,360 - 0,025 = 0,335 \text{ kg.}$$

Обе эти силы получаются несколько большей величины, нежели требуется. Поэтому, производя подобные движения, аист может лететь горизонтально при безветрии.

На рисунках 4 и 5 чертежа VIII обозначены только что вычисленные давления крыльев в правильных соотношениях как при подъеме, так и при опускании, причем на соответственных местах показаны наклонения профилей к направлению проходимых ими путей. Поперечные сечения маховых перьев показаны в  $\frac{2}{3}$  натуральной величины и в их истинном наклонении.

Но аист может лететь не только при избранных соотношениях; существует много других комбинаций наклонения крыльев, при которых полет остается возможным. Выбранный вид, однако же, дает приблизительно minimum работы.

При подъеме крыльев аист не производит никакой работы, потому что крылья только уступают действующему на них давлению снизу. Если же при подъеме крылья изгибаются кверху наподобие пружин, так что они будут содействовать сухожилиям и мускулам, тянущим вниз при опускании, что до некоторой степени имеет место при естественном полете, то это является даже некоторым запасом работы. Эту приобретенную работу теоретически мы можем получить, умножая подъемное давление на пройденный путь. При подъеме получим:

для поверхности	<i>A</i>	работа		0,0
"	<i>B</i>	"	$0,348 \times 0,12 =$	0,0417 kgm
"	<i>C</i>	"	$0,235 \times 0,44 =$	0,1034 "
"	<i>D</i>	"	$-0,015 \times 0,88 =$	-0,0132 "
				<hr/> +0,1319 kgm.

Для 2 крыльев все это сбережение работы теоретически определится числом  $2 \cdot 0,1319 = 0,2638$  kgm при одном взмахе, а следовательно в секунду оно удвоится и будет равно

$$2 \cdot 0,2638 = 0,5276 \text{ kgm.}$$

При опускании получатся следующие работы:

для поверхности	<i>A</i>	работа		0,0
"	<i>B</i>	"	$0,610 \times 0,12 =$	0,0732 kgm
"	<i>C</i>	"	$0,964 \times 0,44 =$	0,4244 "
"	<i>D</i>	"	$0,585 \times 0,88 =$	0,5148 "
				<hr/> 1,0121 kgm.

Из этого следует, что каждый удар вниз двумя крыльями требует работы  $2 \times 1,0121$ , а так как в секунду производятся 2 удара, то работа, производимая аистом при безветрии, будет равна  $2 \times 2 \times 1,01 = 4,04$  kgm, если мы не будем вычитать запаса работы, теоретически найденного при подъеме крыльев. Но если принять во внимание хоть часть этой последней работы, то можно будет всю работу аиста на гребной полет при безветрии выразить круглым числом в 4 kgm.

Работы окажется еще более выгодной, если аист уменьшит размахи своих крыльев, как это, например, показано на рис. чертежа VIII, где точка *b* поднимается лишь около 0,06 m, *c* на 0,26 m и *d* на относительно большую

величину 0,76 m. Тогда получаются нижеследующие таблицы, составленные подобно предыдущим:

Подъем								
	A		B		C		D	
	Верт. сост.	Гор. сост.	Верт. сост.	Гор. сост.	Верт. сост.	Гор. сост.	Верт. сост.	Гор. сост.
+9°	0,634	-0,066	—	—	—	—	—	—
+6°	0,555	-0,042	0,610	-0,063	—	—	—	—
+3°	<b>0,436</b>	<b>-0,023</b>	<b>0,479</b>	<b>-0,037</b>	0,560	-0,102	—	—
0°	0,317	-0,019	0,348	-0,030	0,408	-0,087	0,240	-0,105
-3°	—	—	0,216	-0,028	<b>0,250</b>	<b>-0,059</b>	0,148	-0,072
-6°	—	—	—	—	0,131	-0,057	<b>0,072</b>	<b>-0,055</b>
-9°	—	—	—	—	—	—	0,016	-0,042
(Вследствие ударного действия и сокращения) × 1,0							× 1,0	

Опускание								
	A		B		C		D	
	Верт. сост.	Гор. сост.	Верт. сост.	Гор. сост.	Верт. сост.	Гор. сост.	Верт. сост.	Гор. сост.
+9°	0,634	-0,066	0,690	-0,060	0,808	-0,014	0,505	+0,071
+6°	0,555	-0,042	0,610	-0,036	0,707	+0,006	0,442	+0,077
+3°	<b>0,436</b>	<b>-0,023</b>	<b>0,479</b>	<b>-0,017</b>	<b>0,555</b>	<b>+0,019</b>	<b>0,346</b>	<b>+0,069</b>
0°	0,317	-0,019	0,348	-0,015	0,404	+0,010	0,250	+0,048
-3°	—	—	0,216	-0,019	0,252	-0,003	0,132	+0,020
(Вследствие ударного действия)					× 1,55		× 2,15	

Если тогда примем наклонения поверхностей:

при подъеме для A, +3°, для B, +3°, для C, -3°, для D, -6°,  
а при опускании +3°, +3°, +3°,  
то получим следующие суммы сопротивлений:

При подъеме			При опускании		
	Вертикальное давление	Горизонтальное давление		Вертикальное давление	Горизонтальное давление
Для одного крыла					
A	0,436	-0,023	A	0,436	-0,023
B	0,479	-0,037	B	0,479	-0,017
C	0,250	-0,059	C	0,860	+0,029
D	0,072	-0,055	D	0,744	+0,148
kg	1,237	-0,174	kg	2,519	+0,137
Для двух крыльев					
kg	2,474	-0,348	kg	5,038	+0,274

На основании этого аист, принимая во внимание его вес и сопротивление движению, будет при подъеме придавлен вниз силой 1,526 kg и толкаем назад силой 0,373 kg.



Опускной удар должен поэтому дать

$$\frac{2}{3} \cdot 1,526 = 1,017 \text{ kg подъемного давления и}$$

$$\frac{2}{3} \cdot 0,373 = 0,248 \text{ kg пропеллирующей силы.}$$

Он же производит

$$5,038 - 4 = 1,038 \text{ kg подъемной силы и}$$

$$0,274 - 0,025 = 0,249 \text{ kg пропеллирующей силы,}$$

поэтому, при подобном виде движения, аист также может лететь.

Теоретически выигранная работа при подъеме будет равна

для поверхности	A	работа	0,0
"	B	"	$0,479 \times 0,06 = 0,0287 \text{ kgm}$
"	C	"	$0,250 \times 0,26 = 0,0650 \text{ kgm}$
"	D	"	$0,072 \times 0,76 = 0,0547 \text{ kgm}$
			<u>0,1484 kgm.</u>

Опускной же удар, наоборот, потребует

для поверхности	A	работа	0,0
"	B	"	$0,479 \times 0,06 = 0,0287 \text{ kgm}$
"	C	"	$0,860 \times 0,26 = 0,2236 \text{ kgm}$
"	D	"	$0,744 \times 0,76 = 0,5654 \text{ kgm}$
			<u>0,8177 kgm.</u>

Работа в секунду на производство опускных ударов теперь будет  $4 \cdot 0,8177 = 3,2708$ , тогда как подъемный удар должен дать теоретически сбережение  $4 \cdot 0,1484 = 0,5936 \text{ kgm}$ . Если аист воспользуется хоть частью этой выигранной работы, то при этом виде полета останется произвести  $3,2 \text{ kgm}$  работы, которая поэтому оказывается несколько меньшей, нежели ранее вычисленная для более размашистых движений крыльев.

Вредное задерживающее действие концов крыльев при подъемном ударе может быть еще уменьшено тем, как это мы и видим у птицы, что крайние части крыльев поднимаются по искривленному вверх дугообразному пути, соответствующему их вогнутости. Если таким путем поверхности C и D испытывают наименьшее мыслимое сопротивление при подъемном ударе, то в таком случае работа полета окажется всего лишь  $2,7 \text{ kgm}$ .

Эти вычисления дают нам указания на способы сберечь силу при гребном полете. Мы видим, что работа полета приближается к *minimum*'у в том случае, когда большая часть крыльев, наклоненная наивыгоднейшим образом, рассекает воздух горизонтально, а концы крыльев, делающие наибольший размах, дают поступательное движение.

Предельным случаем будет тот, когда вся поверхность крыльев удерживается неподвижно, а поступательное движение производится особым пропеллером. Наименьшая работа получается тогда, когда несущая поверхность будет иметь наклонение, при котором имеет место пропорционально наименьшая задерживающая составляющая, и такое наклонение, согласно чертежу VI, будет при  $+3^\circ$ .

Подобная, правильно вогнутая, несущая поверхность, поднятая спереди на  $3^\circ$  и двигающаяся горизонтально, даст сопротивление воздуха, наклоненное на  $3^\circ$  назад к нормали, и если оно как раз в состоянии поддержать вес  $G$  летящего тела, то задерживающая составляющая будет равно  $G \cdot \operatorname{tg} 3^\circ$ . Это сопротивление должно быть преодолеваемо особым двигательным приспособлением и притом со скоростью полета  $v$ . Величина этой работы будет равна  $v \cdot G \cdot \operatorname{tg} 3^\circ = 0,0524 v \cdot G$ , что и составит всю расходуюмую работу. Скорость  $v$  зависит от величины несущей поверхности. Принимая во внимание дробный коэффициент для наклонения в  $3^\circ$ , который в данном случае, по чертежу VII, будет равен 0,55, мы получим  $v$  из уравнения

$$G = 0,55 \cdot 0,13 \cdot F \cdot v^2, \text{ а отсюда } v = 3,74 \sqrt{\frac{G}{F}}. \text{ У аиста}$$

отношение  $\frac{G}{F} = 8$ , а потому  $v = 10,58$ . Для преодоления задерживающего сопротивления потребовалось бы поэтому расходовать работу  $0,0524 \cdot 10,58 \cdot G = 0,55 G$ . Если бы действующий при этом пропеллер не имел бы веса и производил 100% полезного действия, то тело одинакового веса с аистом, т. е. в 4 kg, должно было бы развить работу, равную  $0,55 \cdot 4 = 2,2$  kg в секунду. Мы довольно близко подошли к этой минимальной величине при помощи предыдущих вычислений и потому должны принять, что для гребного полета при безветрии не может быть

значительно лучших форм движения в смысле сбережения силы.

Если существуют факторы, сберегающие еще более силу для полета при безветрии, то они могут состоять лишь в том, что форма крыльев получает более тонкое развитие, благодаря чему сопротивления воздуха расположатся благоприятнее, т. е. будут направлены еще более выгодно.

Рассматривая движения при парении на странице 128, мы уже видели, что птицы, благодаря особенно выгодным формам их крыльев, имеют дело с сопротивлениями воздуха, наклоненными значительно более вперед, чем те, которые мы были в состоянии обнаружить нашими опытами. Мы должны были принять на стр. 137, что сопротивления, при известных малых углах, направлены приблизительно на  $1\frac{1}{2}^\circ$  вперед. На основании этого для поверхности, наклоненной под  $3^\circ$ , нужно допустить, что сопротивление направится позади нормали не под  $3^\circ$ , а лишь под  $1\frac{1}{2}^\circ$ . Последствием этого было бы уменьшение задерживающей составляющей на половину, а работа полета прямо пропорциональна этой составляющей. Таким путем механическая работа аиста сократится с 2,7 kgm на 1,35 kgm. Возможно также, что на уменьшение силы как при парении, так и при гребном полете, влияет профиль крыла в направлении, перпендикулярном движению. Исследование этого явления, равно как и точное определение возрастания сопротивления от ударного действия при гребном полете, потребовало бы постройки и испытания приборов, представляющих собой точную копию форм и движения птиц. Это равносильно исследованию последних тончайших различий в действии сопротивления воздуха с помощью практического обращения с летательными аппаратами, и, конечно, за этим дело не станет, если только предварительно будут выработаны истинные основные положения.

Для того чтобы перейти от вычислительной работы для аиста к летательному аппарату для человека, мы должны только сказать, что человек с аппаратом будет весить, приблизительно, в 20 раз больше аиста и что поэтому для него потребуется при гребном полете во время безветрия  $20 \cdot 1,35 = 27$  kgm или 0,36 HP, предполагая, что его летательная поверхность будет в  $10 \text{ m}^2$  и что при этом будут

происходить все те же благоприятные явления, которые замечаются при птичьем полете.

В разделе 35 работа для полета человека при безветрии была вычислена в 0,3 НР; в расчет была введена большая летательная поверхность, и не было принято во внимание сопротивление на подъем крыльев, а потому сделанное вычисление представляло только теоретический интерес, между тем как теперь здесь получена работа в 0,36 НР, принимая во внимание все встречаемые в действительности недочеты и все вредные влияния.

Эта работа, с грехом пополам, могла бы еще быть произведена, но все же подобный полет, как бы он ни был интересен, имел бы весьма мало практического значения. Для того чтобы показать, что нельзя достигнуть лучших результатов, увеличивая размеры крыльев, мы должны заметить, что, даже при наивыгоднейших формах движений, применяя гребной полет при безветрии, для человека требуется, по меньшей мере, 0,36 НР, и, следовательно, при помощи только собственной мускульной силы, человек не может выполнять этот полет в течение продолжительного времени.

Для того чтобы подобный полет мог получить практическое значение, мы должны стремиться воспользоваться услугами легких двигателей.

Но, к счастью для свободного полета, безветрие бывает весьма редко. То, в чем так нуждаются строители аэростатов, дабы достигнуть возможности управлять своими воздушными кораблями, и что они так редко имеют, а именно — возможное спокойствие воздуха встречается в виде редких исключений, в особенности в высших слоях атмосферы. Поэтому, вообще говоря, мы должны рассчитывать иметь дело с ветром, а не с безветрием.

Между двумя этими крайними пределами для летательной работы, равной нулю, когда дует свежий ветер, по крайней мере, в 10 m, и наибольшей величиной расходуемой на гребной полет работы при безветрии, лежат все остальные потребные для полета работы при ветрах, дующих со скоростями от 0 до 10 m.

Подъемное направление ветра, средним числом, одинаково для всех его скоростей. Передаваемая ветрами лета-

щему телу живая сила, служащая для сбережения работы, будет пропорциональна квадратам их скоростей. Так как мы знаем, что при том отношении летательной поверхности к весу тела, какая встречается у аиста и какая, должно быть, будет принята человеком и для себя, ветер, дующий со скоростью в 10 m, приводит всю работу к нулю, то получим:

при ветре. . .	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m
сбережения работы полета	0,01	0,04	0,09	0,16	0,20	0,36	0,49	0,64	0,81

Если мы примем, что при безветрии человек должен производить работу 27 kgm в секунду, то:

при ветре. . .	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m
потребуется работа	26,7	25,9	24,6	22,7	20,3	17,3	13,8	9,7	5,1 kgm

Мы видим, что при ветрах, дующих со скоростью от 6 до 9 m, т. е. при том, что называется лишь «свежим ветром», получаются столь малые величины работы, что, даже при обстоятельствах, значительно более неблагоприятных, нежели допущенные, человек будет в состоянии при помощи своей собственной физической силы весьма легко управиться и с успехом привести в действие надлежащим образом приспособленный летательный аппарат.

## § 41. Конструкция приборов для полета

Предыдущий раздел показал нам численную зависимость между летательною деятельностью, с одной стороны, и летательным результатом, с другой, для птичьего крыла. Увеличивая соразмерно найденные результаты, мы придем к формам и размерам аппаратов, способных служить человеку для свободного полета.

Мы не задаемся желанием изображать при помощи сенсационных рисунков, как летящий человек будет держаться на воздухе при допущении изложенных здесь принципов, и представляем это фантазии каждого. Вместо этого

мы еще раз вкратце напомним положения, на основании которых должна быть соображена конструкция летательных приборов, если будут приняты во внимание результаты опытов, сообщенные в этом сочинении, и если введенные на основании их воззрения окажутся истинными.

Итак, мы полагаем:

1. Конструкция пригодных летательных приборов ни под каким видом не должна зависеть от создания легких и сильных двигателей.

2. Полет на месте не может быть выполнен человеком его собственной силой, так как при наивыгоднейших условиях он требует, по меньшей мере, работу в 1,5 НР.

3. При умеренном ветре физической силы человека достаточно для того, чтобы с успехом привести в движение надлежащим образом приспособленный летательный аппарат.

4. При ветре, дующем со скоростью 10 м и более в секунду, человек может произвести парение без всякого напряжения при помощи соответственных поддерживающих поверхностей.

5. Для того чтобы летательный прибор расходовал как можно меньше работы, необходимо, чтобы он как своей формой, так и относительными размерами, точно соответствовал крыльям хорошо летающих больших птиц.

6. Для определения величины летательной поверхности следует принять от  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{8}$  м<sup>2</sup> на каждый килограмм всего веса<sup>16</sup>.

7. Аппараты, способные поддерживать человека, будучи построены из ивовых прутьев, обтянутых материей, при величине поверхности в 10 м<sup>2</sup> будут иметь вес около 15 kg.

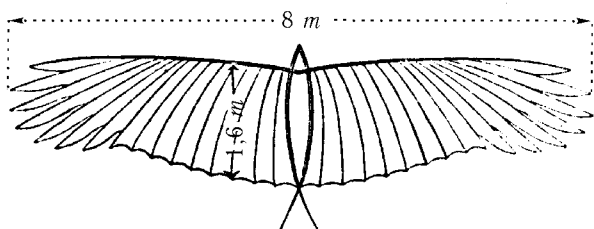
8. Общий вес человека с подобным аппаратом достиг бы, приблизительно, 90 kg и обладал бы  $\frac{1}{9}$  м<sup>2</sup> летательной поверхности на каждый килограмм, что вполне соответствует отношению летательных поверхностей у больших птиц.

---

<sup>16</sup>Прим. перев. На основании измерений, сделанных над птицами, соотношения между весом и величиной летательной поверхности определяются законом, указанным в примечании в разделе 18.

9. Должна ли быть выбрана широкая форма крыльев хищных и болотных птиц с их расчлененными маховыми перьями, или же вытянутая заостренная форма крыльев морских птиц, это может быть решено только опытом.

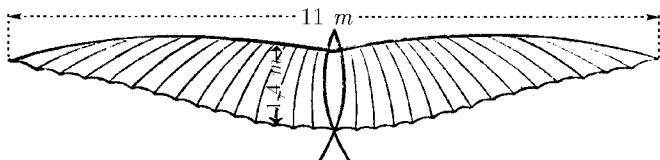
10. Короткие и широкие крылья аппарата при площади, несущей поверхности в  $10 \text{ m}^2$ , получают совокупную длину обоих крыльев в  $8 \text{ m}$  при наибольшей ширине в  $1,6 \text{ m}$ , как показано на рис. 79.



Летательная поверхность  $10 \text{ m}^2$

Рис. 79. (в  $\frac{1}{120}$  натуральной величины)

11. Применяя узкую форму крыльев для летательной поверхности площадью в  $10 \text{ m}^2$ , получим на рис. 80 совокупную длину  $11 \text{ m}$  и наибольшую ширину  $1,4 \text{ m}$ .



Летательная поверхность  $10 \text{ m}^2$

Рис. 80. (в  $\frac{1}{120}$  натуральной величины)

12. Присовокупление хвостовой поверхности имеет лишь второстепенное значение в смысле поддержания.

13. Крылья в своем поперечном сечении должны иметь вогнутость, обращенную книзу.

14. Стрелка вогнутости, по данным птичьего крыла, должна составлять, приблизительно,  $\frac{1}{12}$  ширины крыла в соответственных местах поперечного сечения.

15. Только опыт может точно установить, не будет ли выгоднее применять к большим летательным поверхностям более сильную или более слабую вогнутость.

16. Поддерживающие прутья и утолщения крыльев следует устраивать, по возможности, у их переднего ребра.

17. Полезно заострять спереди это утолщенное ребро, если это будет возможно.

18. Форма вогнутости должна быть параболической; к переднему ребру она должна быть круче, а к заднему — положе.

19. Наивыгоднейшая форма вогнутости для больших поверхностей должна быть определена опытом, и следует отдать предпочтение той форме, при которой, для малых углов наклона, сопротивление воздуха в особенности сильно отклоняется в сторону направления движения.

20. Конструкция должна допускать вращение крыла около его продольной оси; лучше всего, если оно будет производиться целиком, или хотя бы отчасти, самым давлением воздуха. Концы крыльев должны принимать наибольшее участие в этом вращении.

21. При гребном полете ближайшие к середине широкие части крыльев должны подниматься возможно менее и служить исключительно для поддержания.

22. Поступательная скорость полета поддерживается тем, что концы крыльев или маховые перья бьют вниз при наклоненном положении переднего ребра.

23. Широкая часть крыла при гребном полете должна действовать поддерживающим образом также и при их поднятии.

24. При поднятии крыльев концы их должны испытывать возможно меньшее сопротивление.

25. Удар вниз должен продолжаться, по меньшей мере, в течение  $\frac{6}{10}$  всего времени колебания крыла.

26. Только концы крыльев должны принимать участие в подъемном и опускном ударах; поддерживающая



же часть крыла может оставаться неподвижной, как и при парении.

27. Если движение вниз и вверх производится лишь концами крыльев, то крыло должно быть построено без сочленений, потому что иначе оно легко может подвергнуться излому; гораздо лучше, если взмах концов достигается посредством постепенного перехода в толщине и гибкости крыльев.

28. Для производства ударов крыльями силой человека лучше всего воспользоваться разгибающими мускулами ног, и притом не одновременно, а попеременно, и по возможности так, чтобы один шаг каждой ноги производил двойной удар.

29. Подъем может быть произведен самим давлением воздуха.

30. Хорошо было бы, по возможности, сберечь работу давления воздуха при поднятии крыльев посредством пружин, которые приходили бы в действие при опускном ударе и таким образом уменьшали бы потребную на него работу.

Изложенное составляет главные пункты, которым необходимо следовать, если хотят применить вышеизложенные теории.

Из нашего собственного опыта мы можем утверждать, что трудно даже и представить себе, насколько сильное подъемное действие на крылья указанной формы обнаруживает ветер, в чем может убедиться каждый, производя подобный опыт.

Без предварительного навыка человеческой силы оказывается совершенно недостаточно для того, чтобы справиться с подобными крыльями на ветре. Поэтому начальным результатом обыкновенно бывает то, что легкий и хорошо рассчитанный аппарат при первом же сильном порыве ветра разлетается вдребезги.

На этом основании следует рекомендовать упражнять чувствительность своих мышц и изощрять свою ловкость в устойчивом удержании крыльев, работая вначале на ветре с малыми поверхностями. Когда же при помощи надлежащим образом приспособленных поверхностей мы личным

опытом освоимся с обращением с воздухом и ветром и эта привычка достаточно войдет нам в плоть и в кровь, только тогда можем мы начать думать о выполнении настоящего свободного полета.

Этим указанием заканчиваем мы настоящий раздел.

Мы представляем искусству строителей изобрести применимые способы постройки крыльев с выгодными двигательными механизмами и воспользоваться для практических целей принципами полета, найденными нами исключительно стремлением к истине.

Когда относящийся сюда материал значительно возрастет, то, со временем, может быть, мы будем иметь случай передать его во всеобщее сведение.

## § 42. Заключение

Если мы теперь бросим взгляд назад на все, что было изложено в этом труде, то возникает целый ряд положений, вытекающих из опытов, и все они, находясь в непосредственной связи с решением задачи полета, основываются на некоторых отдельных факторах, которыми и обуславливаются требуемые для полета напряжения.

Оценка правильности этих положений требует знакомства лишь с простейшими понятиями механики, и, вообще, важнейшие моменты искусства летания настолько просты, с механической точки зрения, что для понимания их требуется знать только учение о равновесии и о параллелограмме сил. Несмотря на это, литература техники полета представляет доказательство, с какой чрезвычайной легкостью в механическое учение задачи полета вплетались различные ошибки и ложные выводы, что и дало повод представить здесь, насколько возможно элементарно, механические явления, происходящие при полете.

Если, с одной стороны, обсуждение этой, до сих пор несколько запутанной, темы значительно облегчилось, то с другой — автор питал надежду, что он своим исследованием приобретет сторонников не только идеи полета, но и механики вообще как необходимой вспомогательной науки; он надеялся, что у того или иного читателя явится побуждение

познакомиться с важнейшими сочинениями по теоретической механике или освежить в памяти давно пройденное во время студенчества.

С вопросом полета нужно поступать иначе, нежели с другими техническими задачами. Он должен стать в особое положение вследствие, как это было сказано ранее, своеобразности кружка лиц, им интересующихся. Духовной особе, офицеру, врачу или филологу, земледельцу и купцу, конечно, не придет в голову специально посвятить себя изучению паровых машин, горного дела или ткацкого производства; все знают, что этого рода деятельность находится в хороших руках, вследствие чего она и представляется специалистам с полным доверием; в технике же полета специалисты отсутствуют, и потому каждый может заняться ею с пользой и, благодаря счастливой мысли, приблизить то мгновение, когда человек окажется способным произвести свободный полет.

Техника полета пока еще не может быть рассматриваема как настоящая специальность; она еще не выставила такого ряда представителей, к которым можно было бы относиться с известным доверием. Это происходит вследствие шаткости понятий, а также благодаря недостатку каких-либо систематических знаний; в технике летания нет таких основ, на которые каждый желающий заняться ею мог бы твердо опереться.

Поэтому настоящий труд предназначается не какому-либо кружку специалистов, а «каждому, кому врождено чувство стремиться вверх и вперед, когда жаворонок поет свою трескучую песню, теряясь в голубом просторе, когда орел, расправив крылья, плывет над угрюмыми вершинами сосен, и журавль стремится на родину через долины и моря».

«An leben, dem es eingeboren,  
Dass sein Gefühl hinauf und vorwärts dringt,  
Wenn über uns, im blauen Raum verloren,  
Ihr schmetternd Lied die Lerche singt,  
Wenn über schroffen Fichtenhöhen  
Der Adler ausgebreitet schwebt,  
Und über Flächen, über Seen  
Der Kranich nach der Heimat strebt».

Пусть это послужит объяснением тому, что наша книга обращена *ко всем* и что в первых разделах ее была сделана попытка обратить внимание читателя, интересующегося вопросом летания, на другую науку, без которой теряется понимание большей части того, что составляет главную прелесть в занятии задачей летания.

В этом же труде выяснено, к каким неутешительным результатам должна прийти техника летания, если она ограничит область своих исследований *одними плоскими* летательными поверхностями.

Кроме того, было показано, что даже в тех случаях, когда выгоды от вогнутости крыльев отходят на задний план, т. е. тогда, когда не происходит поступательного полета в окружающем воздухе, то и тогда работа полета должна быть исчислена не по обыкновенным формулам сопротивления воздуха, ибо при ударах крыльями сопротивление воздуха является в ином виде и достигает требуемой величины при значительно меньших скоростях, а, следовательно, вызывает соразмерно меньшую работу для его преодоления.

Я привел здесь весьма осязательные в этом отношении опыты, которые устанавливают вне всякого сомнения, что ударное действие производит сопротивление воздуха, которое нужно измерять совершенно иным путем, нежели то, которое получается, когда поверхность движется в воздухе равномерно и движение это вполне установилось.

Далее было показано, что одно только поступание не дает ключа к разрешению задачи полета, пока в расчет будут приниматься одни лишь плоские летательные поверхности.

Наконец, на основании имевшихся под руками опытных результатов, была сделана попытка показать, что истинный секрет птичьего полета нужно искать *в вогнутости* птичьих крыльев, которой и объясняется незначительность развития силы, встречаемое в природе при поступательном полете птиц, и благодаря которой, при содействии особого подъемного действия ветра, вообще, только и становится возможным понять парение птиц.

Все это нами найдено в естественном полете птиц, и мы не можем воспроизвести все особенности форм и спо-

собою движения, не опираясь непосредственно на птичий полет.

*Поэтому мы должны прийти к заключению, что только точное подражание птичьему полету в отношении происходящих механических явлений и может быть принято человеком за основание для рационального полета, потому что весьма вероятно, что оно составляет единственный метод, дающий свободный, скорый и к тому же требующий незначительной силы полет.*

Основная мысль свободного полета, в которой мы теперь не сомневаемся, состоит просто в том, что **«птица летает потому, что она производит движения в окружающем ее воздухе надлежащим образом, при помощи соответственно приспособленных крыльев»**.

Как должны быть устроены эти приспособленные крылья и как они должны быть приводимы в движение — это и составляет два главнейших вопроса техники полета.

Наблюдая, как природа разрешила эти вопросы, и отбрасывая плоские летательные поверхности как не пригодные для летания больших существ, мы чувствуем, как шаг за шагом исчезает то страшилище, которое заставило нас пятиться назад, требуя для полета создания особой двигательной силы. Мы видим, что, благодаря вогнутому, естественному крылу, вполне устраняется вопрос о силах и что он скорее превращается в вопрос о ловкости.

Раз дело идет о силах, то числа могут поставить непреодолимую преграду; что же касается ловкости, то она безгранична. Справиться с задачей сил является невозможным навеки, приобретение же необходимой ловкости представляет лишь временные затруднения.

Посмотрим на чайку, которая почти не колыхается, проплывая при ветре над нашими головами на расстоянии какой-нибудь сажени! Низко заходящее солнце бросает тень от ребер ее крыльев на слабо вогнутую нижнюю их поверхность, вообще светло-серого цвета, а теперь позолоченную в красный цвет. О небольших движениях крыльев мы можем судить по суживанию и расширению этой тени, что дает нам также представление о вогнутости крыльев в то время, когда чайка покоится на них в воздухе.

Это то самое телесное крыло, которое просмотрел Гете, заставивший вздыхать Фауста:

«Ах, не так-то легко телесному крылу присоединиться к крыльям духа».

«Ach, zu des Geistes Flügeln wird so leicht  
Kein körperlicher Flügel sich gesellen».

Да, не так-то легко применить к человеку это естественное крыло со всеми сберегающими силу его свойствами, а пожалуй еще труднее, с помощью этих телесных крыльев, которыми природа обделила нас при рождении, управиться с ветром, этим беспокойным собеседником, который так охотно разрушает все плоды нашего труда. Но, тем не менее, мы должны признать возможным, что исследования и ряд опытов, следуя один за другим, приблизят ту великую минуту, когда первый свободно летающий, хотя бы в продолжении всего лишь нескольких секунд, человек, при помощи крыльев, поднимется с поверхности земли, и тогда наступит тот исторический момент, который мы можем принять за начало новой эпохи цивилизации.

# Приложение. Чертежи

Черт. 1

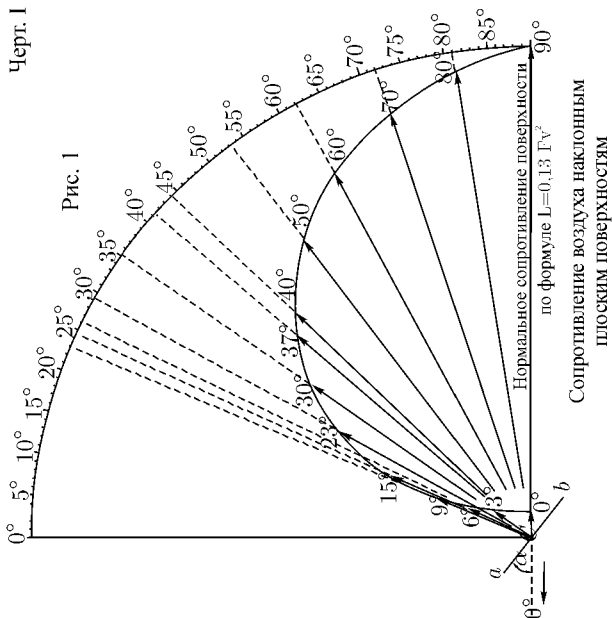
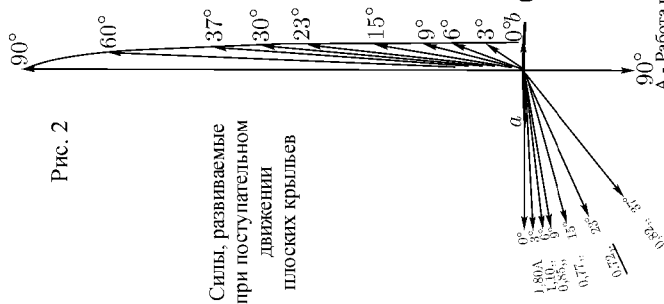


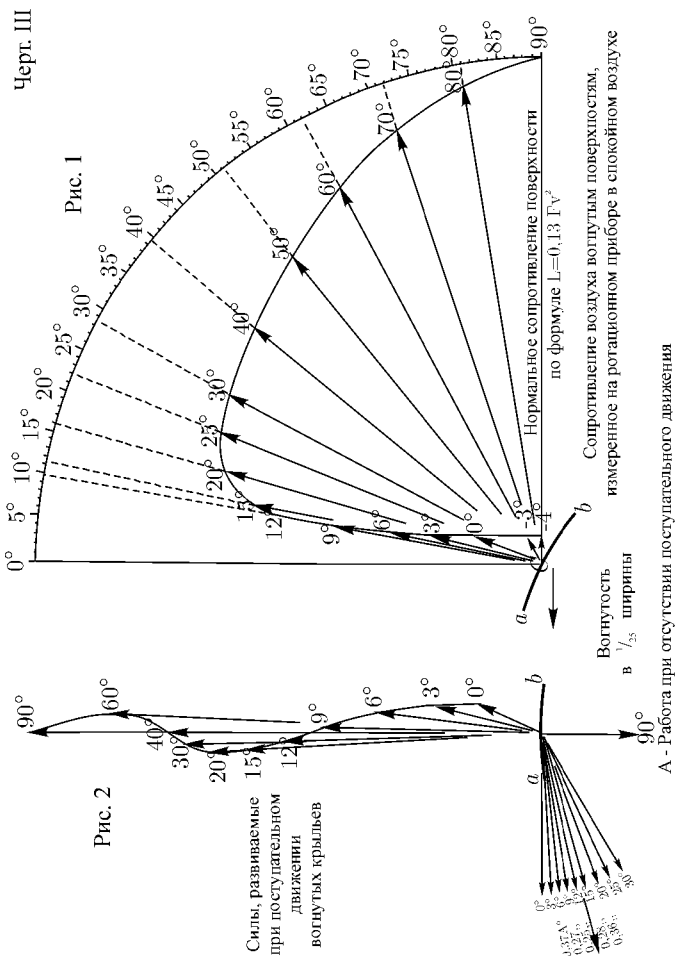
Рис. 2

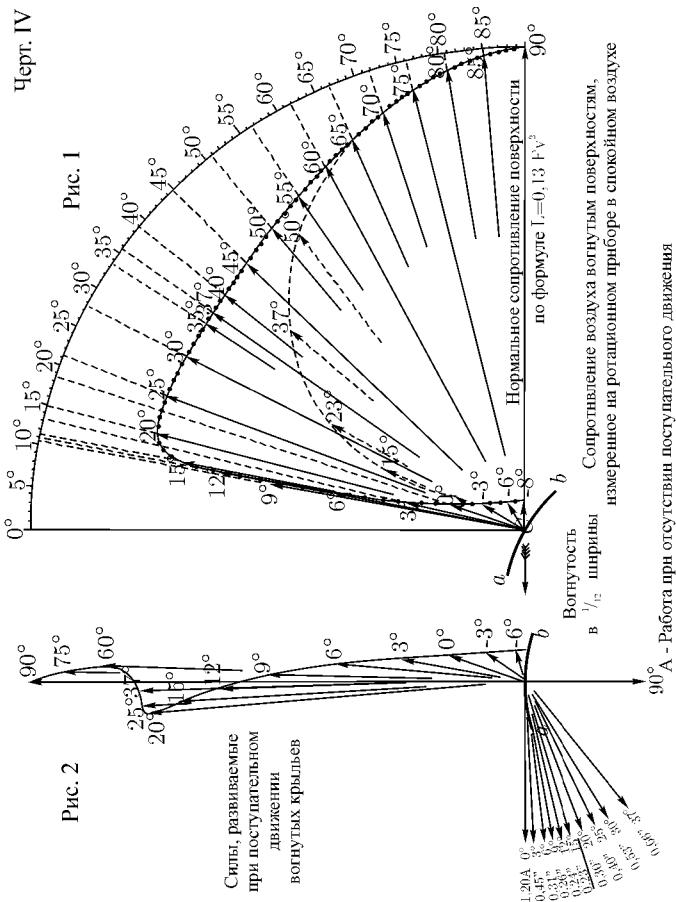
Силы, развиваемые при поступательном движении плоских крыльев



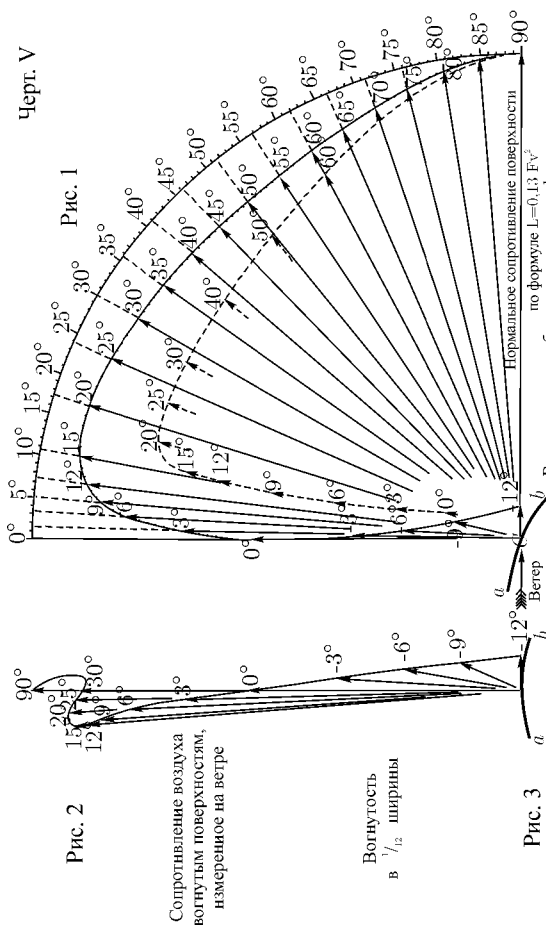


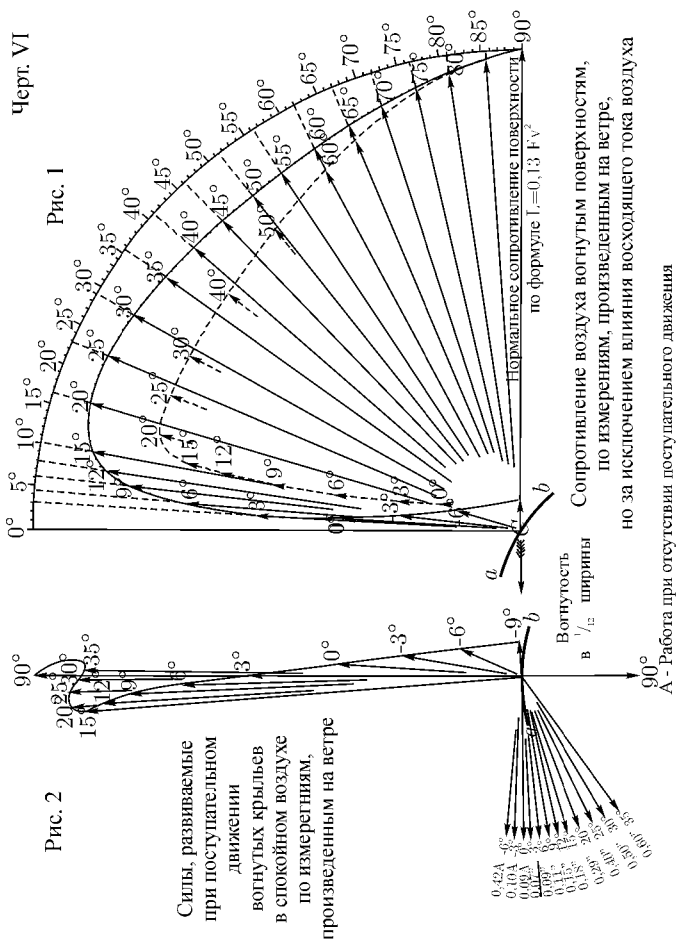






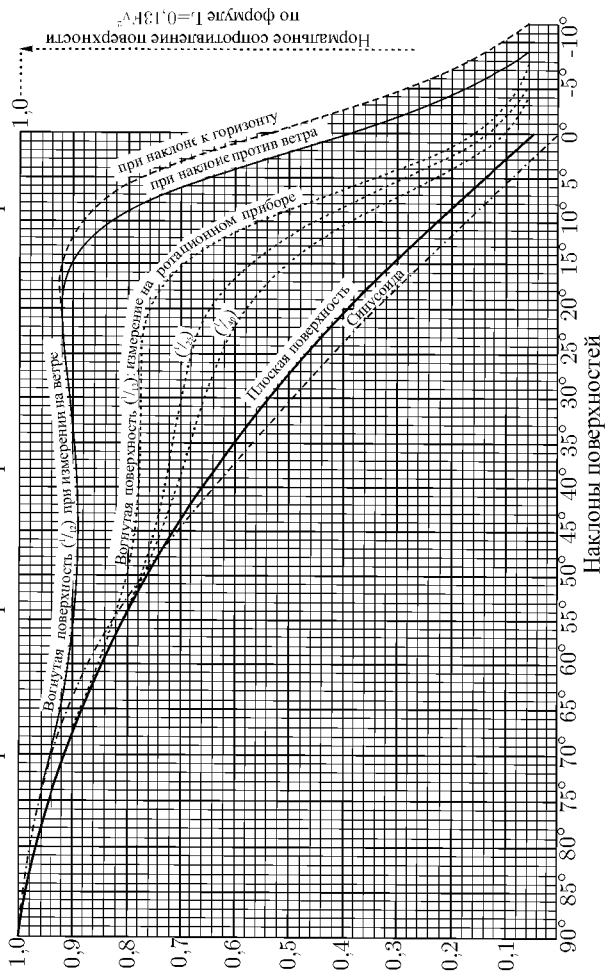
Черт. V





Черт. VII

Сопротивление воздуха различным наклонным поверхностям, выраженное в нормальном сопротивлении плоской поверхности





Н. Б. ДЕЛОНЕ

---

**УСТРОЙСТВО  
ДЕШЕВОГО И ЛЕГКОГО  
ПЛАНЕРА  
И СПОСОБЫ  
ЛЕТАНИЯ НА НЕМ**





## Предисловие

Получая часто письма с запросами о том, как устроить планер и как учиться на нем летать, я решился выпустить в свет эту брошюрку с описанием довольно удачно построенного моим сыном планера, отличающегося своей легкостью и дешевизной: он весит всего только пуд десять фунтов при 15 кв. метрах поверхности главных планов и обошелся нам около двадцати рублей.

Прежде всего необходимо заметить, что *летание на планере без строжайшего соблюдения правил, указанных в этой брошюре, было бы делом в высшей степени опасным, которые могут привести не только к увечью, но и к мучительной смерти.*

Чем большего умения достигнет авиатор, тем большую он должен соблюдать осторожность и не поддаваться искушению проделывать слишком смелые эволюции.

Первый, открывший тайну летания на планерах, Лилиенталь, погиб, сделавшись жертвой слишком смелого полета. Первый последователь Лилиенталья, Пильчер, тоже погиб, поддавшись искушению летать в сильный ветер.

Между тем, в строгой школе Шанюта и его учеников, братьев Райт, не было ни одного несчастного случая с планерами, несмотря на то, что Шанютом, Херингом и Райтами было исполнено несколько тысяч полетов.

На планере нельзя совершать продолжительных полетов на несколько верст, как это делается на аэропланах, представляющих собой большие планеры, снабженные двигателем. Самые замечательные результаты, достигнутые до сих пор на планерах, заключались в «скользящих» полетах по отлогой линии с 80 метров на 250 метров вдоль. Несмотря на это, упражнения на планерах представляют большой интерес.

*Во-первых*, скользящие полеты на планере представляют лучший способ изучения авиации, то есть летания на снарядах более тяжелых, чем воздух, как это видно на примере братьев Райт, которые летают на своем сравнительно плохо уравновешенном аэроплане лучше всех, главнейшим образом благодаря тому, что они в течение нескольких лет

практиковались предварительно на планерах и, этим способом, основательнейшим и практичным образом ознакомились с летанием, выработав в себе нечто вроде птичьего инстинкта.

*Во-вторых*, с планером можно производить ряд интересных и полезных опытов по исследованию сопротивления воздуха, способов усовершенствования летательных снарядов и прочее.

*В третьих*, покупка или устройство аэроплана обходится не менее 4000 руб., а планер можно построить за 20 руб.; а между тем, теория аэроплана вся основана на теории планера, и скользящие полеты на планере, всего на какие-нибудь 10 метров вдаль, все-таки знакомят с чувством летания.

Наконец, осуществление заветной мечты авиаторов — *парения*, — то есть орлиного полета вверх с неподвижно распростертыми крыльями, без двигателя, на счет живой силы ветра, — будет достигнуто, вероятнее всего, основательным *практическим* изучением летания на планерах.

## Устройство планера

Наш планер состоит из главного корпуса и хвоста.

*Главный корпус* (рис. 1) представляет собой параллелепипед, ребра которого сделаны из сосновых брусьев, а верхняя и нижняя грани затянуты коленкором. Верхняя и нижняя грани представляют собой поддерживающие поверхности — «планы». Поэтому этот снаряд можно назвать двухпланным или бипланом.

Горизонтальные ребра передней грани BF и AE распростерты между собой вертикальными стойками c, точно так же, как и горизонтальные ребра задней грани CG и DH.

Наибольший размер AE параллелепипеда равен 6 м; высота АВ равна 140 см; длина BC равна 130 см.

Для постройки планера надо заказать хорошие, из прямослойной сосны, бруски следующих размеров.

	Названия в нашем описании	Число штук	Длина	Ширина	Толщина
в сантиметрах					
Бруски	a	10	300	$2\frac{1}{2}$	2
”	b	8	130	2	$1\frac{1}{2}$
”	c	15	140	2	$1\frac{1}{2}$
”	d	28	150	1	1
Палки	e	4	140	круглые	$3\frac{1}{2}$ сант. диаметр.
Бруски	f	4	80	2	$1\frac{1}{2}$

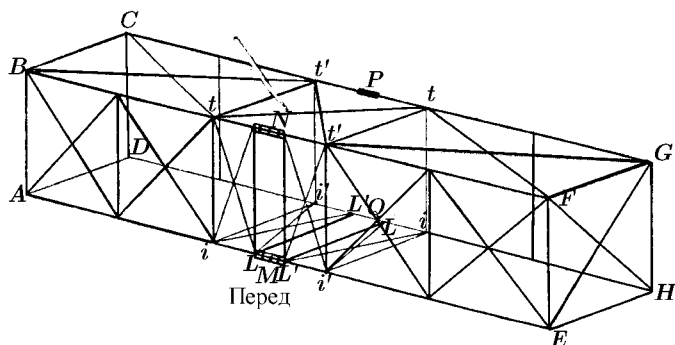


Рис. 1

Главный корпус состоит из двух отдельных одна от другой половин  $ABCDMNPQ$  и  $MNPQEFGH$ . Каждая половина состоит из верхнего и нижнего прямоугольников. Каждый такой прямоугольник, например,  $AMQD$  (рис. 1) из двух брусьев сорта (a) и из двух брусьев сорта (b) (рис. 2); причем со стороны, обращенной к середине планера, брусья (b) прикреплены к брусьям (a) не у концов их, а в 60 сантим. от концов. Для постройки такого прямоугольника брусья (b) прибиваются к брусьям (a) гвоздиками — по одному тонкому и длинному гвоздику в каждой вершине, и затем скрепляемые брусья крепко связываются бечевкой. Наконец, противоположные вершины

прямоугольника соединяются (расчаливаются) между собой по диагоналям английским шпагатом (веревкой) в 3 миллиметр. толщины. Этот шпагат надо предварительно вымочить в жидком дегте, продающемся в каждом аптечном магазине, и высушить, развесив дня на два на солнце. Шпагат просто завязывается по вершинам прямоугольника и натягивается *не слишком сильно*, чтобы не возбудить лишнего напряжения брусев.

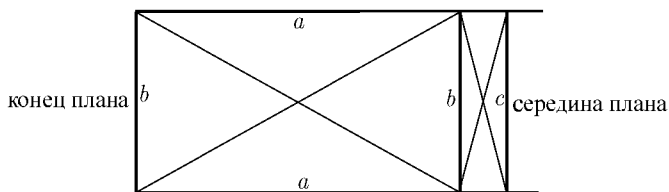


Рис. 2

Изготовленные таким образом прямоугольники укрепляются один над другим при помощи шести стоек из сорта (с), (рис. 3), которыми прямоугольники просто распираются один от другого, ибо стойки эти можно даже ничем не прикреплять к горизонтальным брусам, между которыми они держатся просто трением, если стянуть распираемые стойками брусья шпагатом, как это будет указано ниже.

Но для безопасности можно около концов стоек прибить к брусам кусочки дерева (рис. 4), так чтобы конец стойки помещался между кусочками.

Итак, в каждый брус (а) прямоугольников упираются стойки в следующем порядке: на конце, в расстоянии 120 сант. от конца и в расстоянии 60 см от другого конца — там, где прикреплены брусья (б) к брусам (а), (рис. 3).

Таким образом получается одна половина главного корпуса; расчаливается она шпагатом, как показано на рис. 4; на 1-ом же рисунке, для ясности чертежа, указана расчалка шпагатом только трех граней.

Другая половина главного корпуса строится совершенно также.

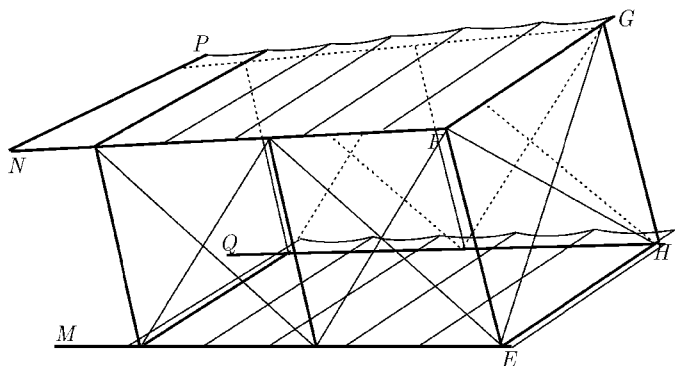


Рис. 3

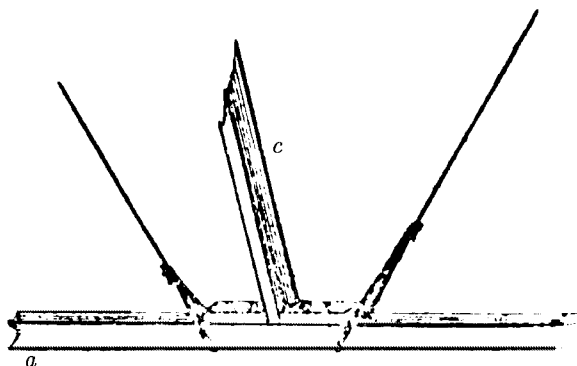


Рис. 4

Затем четыре свободные конца  $MNPQ$  одной половины соединяются с соответственными концами другой — кусками листового железа или жести, обертываемыми около сходящихся встык концов, как показано на рис. 5, в виде трубки, и обвязываемыми затем бечевкой. Задние трубки  $P$  и  $Q$  (рис. 1) должны быть около 10 см длины, а передние  $M$  и  $N$  (рис. 1) — около 30 см длины.

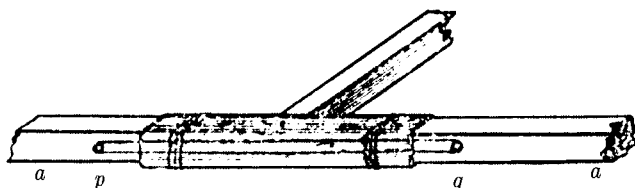


Рис. 5

В скрепляемые таким образом брусья ввинчиваются шурупы (винтики)  $p$  и  $q$  (рис. 5). Затем обе половины стягиваются еще диагональными шпагатами  $tt$  и  $t't'$  (рис. 1).

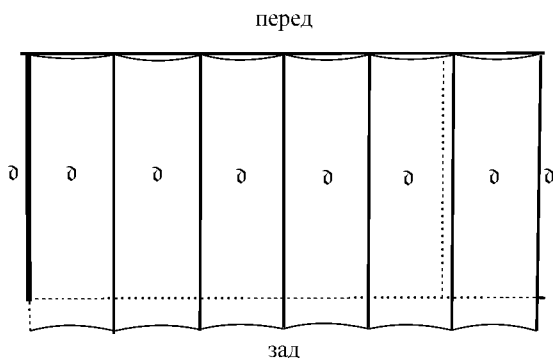


Рис. 6

Когда готов таким образом остов главного корпуса, надо натянуть на его верхнюю и нижнюю грань коленкор. Для этого изготовляют четыре (по числу прямоугольников) прямоугольных полотнища коленкора по 3 метра длины и по  $1\frac{1}{2}$  метра ширины и прибивают на каждое из этих полотнищ по 7 брусков ( $d$ ), в равном один от другого расстоянии (рис. 6) по 50 сант. между соседними брусками. При этом под головки гвоздей насаживают предварительно кусочки картона, для того чтобы коленкор не соскакивал, разрываясь через головку гвоздя.

Оснащенные такими ребрами (d) четыре полотнища прикрепляют, каждое к своему прямоугольнику BCPN; NPEG; ADQM и MQNE (рис. 1), привязывая брусья (d) к брусьям (a) шпагатом.

Необходимо еще прикрепить 2 круглые палки сорта (e) около середины к брусьям (a) нижней грани в расстоянии 50 сантиметра одну от другой (рис. 1). На эти палки упирается авиатор локтями во время полета. К каждой из них привязывается по полотенцу, чтобы, перекинув их через плечи, держать на себе планер во время разбега перед полетом.

Другие две круглые палки (e) прикрепляются вертикально спереди (рис. 1) наподобие стоек. За эти палки авиатор держится руками. Поэтому эти палки надо привязать крепко к верхней и нижней жестяным трубам N и M.

Все прямоугольники должны быть стянуты по диагоналям шпагатом не слишком слабо, чтобы не изменялась форма планера, но и не слишком сильно, чтобы не производить лишних напряжений брусьев. При хорошем натяжении диагоналей главный корпус обладает удивительной жесткостью, то есть неизменяемостью формы, как сплошное твердое тело. Диагонали показаны на трех гранях (рис. 1); такие же диагонали натягиваются и на других трех гранях, с той только разницей, что в верхней грани имеются диагонали  $tt$  и  $t't'$ , скрепляющие одну половину корпуса с другой, а на нижней грани нет соответственных им диагоналей, потому что они стесняли бы авиатора, но зато имеются две диагонали  $ii$  и  $i'i'$ .

Когда главный корпус готов, его необходимо еще испытать. Для этого его ставят на пододвинутые под его 4 нижние угла табуреты и подвешивают за горизонтальные круглые палки (e) ведро с  $2\frac{1}{2}$  пуд. песку. Если при такой нагрузке весь корпус прогнется в средней части не более, как на 4 сантиметра, и без прогиба стоек, то он годен.

*Хвост* прикрепляется к главному корпусу сзади посередине. Остов хвоста состоит из двух брусьев (a) (рис. 7), соединенных тремя вертикальными брусьями (b); причем задний от среднего отстоит на 120 сантиметра. Брусья (a) хвоста прикрепляются наглухо к трубкам P и Q; для этого концы P' и Q' обвязывают предварительно туго бечевкой,

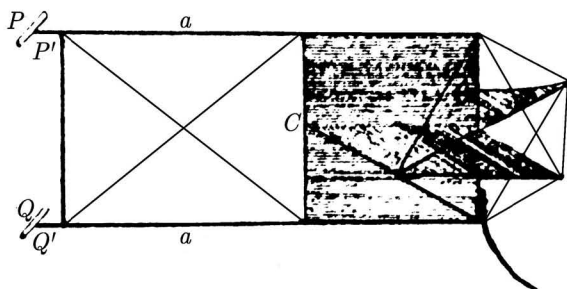


Рис. 7

чтобы дерево не раскололось при вбивании гвоздей, а затем прибивают жестяные листы к концам  $P'$  и  $Q'$  и уже потом наворачивают их в виде трубок на стыки  $P$  и  $Q$  корпуса. Так делают в первый раз, а потом, при сборке и разборке, эти трубки так и остаются трубками, крепко набитыми на концы  $P'$  и  $Q'$  хвостовых брусьев, составляя с ними букву  $T$ .

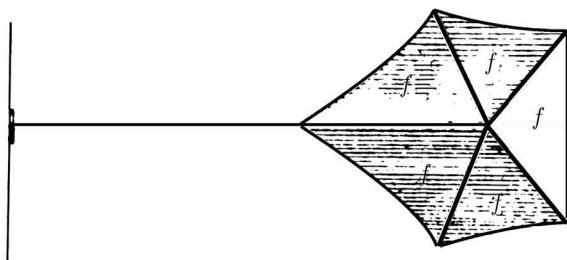


Рис. 8

Между задним и средним вертикальными брусьями (b) хвоста натягивается коленкор, образующий вертикальную часть хвоста (рис. 7). Горизонтальную часть хвоста делают веерообразной, чтобы ее можно было складывать. Она состоит (рис. 7 и 8) из двух параллелограммов коленкора, натянутых на 4 бруска (f), привязанных концами к се-



редине вертикального бруска хвоста. Эти бруски стягиваются шпагатом с конца вертикального заднего бруска так, что остаются перпендикулярными к этому бруску. Одна из вершин каждого параллелограмма привязывается к средней стойке хвоста, а задние вершины стягиваются между собой шпагатом. Если отвязать один из концов этого шпагата, то горизонтальная часть хвоста складывается как веер.

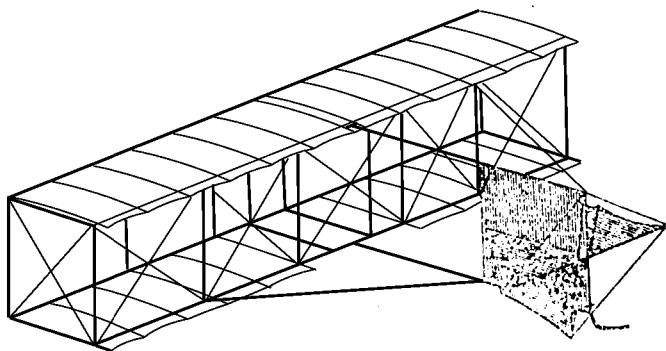


Рис. 9

К заднему концу нижнего хвостового бруска привязывается упругая бамбуковая или ивовая палочка (рис. 7) в виде полоза для предохранения хвоста от ударов. Хвост притягивается шпагатом к корпусу, как показано на рис. 9.

*Разборка планера* производится следующим образом. Развязав шпагаты, притягивающие хвост, шпагаты  $tt$  и  $t't'$  (рис. 1) и веревки, стягивающие обе половины корпуса за шурупы  $p$  и  $q$  (рис. 5), отодвигают одну половину корпуса от другой, вынимая концы брусьев (а) из жестяных трубок. Затем вынимают стойки (с), не отвязывая диагональных шпагатов; вследствие этого верхняя грань (верхний прямоугольник) каждой половины опускается на нижнюю; а затем два прямоугольника одной половины кладутся на два прямоугольника другой, и в таком сложенном виде весь корпус занимает 3 метра в длину,  $1\frac{1}{2}$  метров в ширину и 20 сантиметров в толщину; так что его можно прислонить

к стене в комнате, а к нему прислонить еще и хвост, который складывается уже совершенно просто отвязкой одного заднего шпагата и сложением горизонтального веера.

## Основные свойства планера

Подъемная сила планера тем больше, чем больше его относительная скорость по отношению к воздуху, в котором он движется.

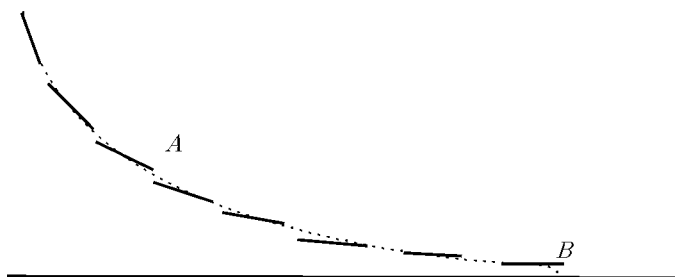


Рис. 10

Если бросить планер со значительной высоты, накренив его передний край и не сообщая ему толчка вперед, то он сначала начнет падать по крутой линии (рис. 10), двигаясь все скорее и скорее; когда он приобретет достаточную скорость, то линия его полета делается более отлогой и наконец делается наклонной прямой. Вот эту-то последнюю прямолинейную часть АВ пути планер пролетает всегда с одной и той же скоростью (по отношению к воздуху), *присущей* данному планеру, около 8 метров в секунду. В упражнениях на планере надо стараться пользоваться именно только таким прямолинейным полетом. Летать надо только против ветра.

Если относительная скорость увеличится вследствие усиления ветра, то планер начнет подниматься — путь его пойдет вверх.

Если относительная скорость уменьшится вследствие ослабления ветра, то путь его изогнется вниз.

## Управление планером

Поместившись между горизонтальными палками (е) у переднего бруска (а) планера, авиатор надевает на плечи полотенца, привязанные к этим палкам и берется руками за вертикальные палки (е). Оставаясь еще на земле, авиатор несет на себе планер. Во время полета полотенца сползают с плеч к локтям, и авиатор упирается на горизонтальные палки (е) локтями, продолжая держаться за вертикальные палки (е).

Полотенца надо надевать не накрест, во избежание удушья.



1) Вытягиванием ног вперед и передвижением всего своего тела вперед авиатор достигает наклонения переднего края планера немного вниз — планер «клюнет носом». От этого путь планера сделается более крутым.

2) Поджимая ноги и подавшись назад, авиатор достигает направления планера передним краем немного вверх —

планер «станет на дыбы». От этого путь планера делается более отлогим, или получится даже небольшое поднятие.

3) Если планер начнет поворачивать в сторону, то откидыванием ног в противоположную сторону и перемещением всего тела в сторону, противоположную той, куда стремится планер, можно исправить (выпрямить) полет.

## Нормальный полет

Нормальный полет на планере, к исполнению которого ученик должен стремиться, изображен на рис. 11 пунктиром: против слабого ветра, с уклона не слишком крутого, держа все время на небольшой (около сажени или меньше) высоте от земли.



Рис. 11

## Упражнения

1) Держа на себе планер, как было указано выше, бегать *против ветра* по ровному месту, не поднимаясь с земли. *Проделывать это только при слабом ветре*, ибо сильный ветер может поднять авиатора с планером на большую высоту и перекувыркнуть.

Направление ветра и даже скорость его можно наблюдать, подбрасывая горсти пыли, следя за направлением ее полета и замечая, на сколько метров в секунду ее относит. Первое упражнение можно проделывать при ветре, не превышающем 4 метров в секунду.

Стоя с планером, авиатор *чувствует* направление ветра, потому что, при малейшем уклонении от позиции «против ветра», тот бок планера, на который дует ветер, подни-

мается. Если же авиатор поместится строго против ветра, то ни один бок не будет подниматься.

2) Избрав несколько склонов холма, или луга, или дороги *не более сажени высоты*, дождавшись ветра, скорость которого не превышала бы 6 метров в секунду и дующего прямо против одного из выбранных склонов, спрыгивать с планером с этого склона, предварительно разбежавшись. При разбеге немного приподнимать передний край планера, а при прыжке опускать его до горизонтального положения. Удобнее проделывать это упражнение с помощником, который во время разбега бежит, поддерживая хвост и направляя планер против ветра. Прыгать только строго против ветра, чтобы не перекувыркнуться.

3) Постепенно проделывать то же со склонов все более и более высоких, *но не крутых*.

При дальних полетах полезно проверить ветер подбрасыванием пыли по всему намеченному к полету пути, потому что случается, что внизу склона штили, или вихри, или боковой ветер, способный опрокинуть планер. Это исследование «качества» ветра при помощи пыли очень важно; от него часто зависит успех.

4) Можно привязать к середине М планера веревку не более 2-х саж. длины, с тем чтобы два помощника, взявшись за конец веревки, бежали против ветра. Тогда планер с авиатором поднимается как змей, и полет может сделаться настолько продолжительным, что авиатор успеет управлять планером с помощью движений ног и туловища.

## Общее замечание

Главное достоинство полета — его дальность, а не высота.

Если высота в 5 раз меньше дальности, то говорят, что уклон полета  $\frac{1}{5}$ ; при высоте в 6 раз меньшей дальности уклон  $\frac{1}{6}$ , и так далее.

Хорошим можно считать уклон в  $\frac{1}{6}$ , но братья Райт достигали уклонов в  $\frac{1}{12}$  и даже меньше.

Спуститься с высоты 2-х саж. на 4 саж. вдаль — это глупый и опасный прыжок; спуститься же с одной сажени на 5 саж. вдаль — это уже порядочный полет.

## Правила

- 1) Никогда не прыгать в овраг.
- 2) Не прыгать с отвесных обрывов или крыш.
- 3) Слетать всегда против ветра.
- 4) Не летать при ветре, скорость которого более 6 метров в секунду.

5) Главное же — надо помнить, что перед каждым полетом необходимо хорошо исследовать при помощи пыли «качество ветра» и скорость воздуха, по которой придется лететь, и не пускаться в полет, если скорость воздуха в различных местах разная, так как, если во время полета попасть из более быстрого воздуха в более медленный, планер падает; если же, наоборот, налетит сильный порыв ветра, планер поднимается на значительную высоту (сажень на 5), его скорость по отношению к воздуху уменьшается, и он начинает терять равновесие. Если это случится, надо *энергично подвигаться всем корпусом вперед*, чтобы опустить передний край планера и таким образом сделать путь планера наклонным вниз.

Надо, впрочем, заметить, что такие внезапные подъемы, конечно, доставляют удовольствие авиатору: жутко видеть уходящую вниз землю, и дивишься той неведомой силе, которая плавно поднимает и покачивает планер в воздухе; авиатор на планере — как моряк на корабле; авиатор связан со своим планером, дающим ему опору высоко над землей в свободном воздухе: стоит сорваться с планера, и неумолимая сила тяжести готовит гибель.

Однако, как ни увлекателен такой полет при порыве ветра, он *крайне опасен и абсолютно запрещается* новичкам.

Описанный планер — лучшая школа для начинающего авиатора: он позволяет выучиться правильному скользящему полету; и только достигший совершенства на таком планере может пробовать летать при порывистом ветре, т. е. парить. Но для этого уже нужен более сложный и значительно более дорогой планер, снабженный рулями.

Н. Е. Жуковский

---

**ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ  
АППАРАТ  
ОТТО ЛИЛИЕНТАЛЯ**

(1895 г.)





Наиболее выдающееся изобретение за последнее время в области авиации представляет летательный аппарат немецкого инженера Отто Лилиенталя. Этот аппарат состоит из неподвижных крыльев, сделанных из ивовых прутьев и парусины и обращенных книзу вогнутой стороной. Крылья имеют 7 м длины и около  $2\frac{1}{2}$  м ширины ( $18 \text{ м}^2$ ). Весь аппарат весит 20 кг и без труда держится на руках, продеваемых до плеч в отверстия, сделанные в передней части аппарата, причем руками следует ухватиться за поперечную перекладину прибора.

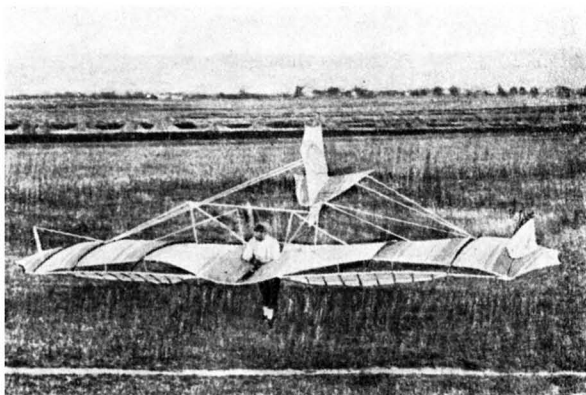


Рис. 1

Снимок (рис. 1) представляет Лилиенталя с надетым на него летательным аппаратом. С таким снаряжением он легко может бегать. Первые опыты парения по воздуху Лилиенталь сделал в 1893 г. в местечке Штеглиц (Steglitz) около Берлина, где на горе для него была построена башня (10 м). С этой башни он бросался со своим аппаратом против ветра и двигался в воздухе, ниспадая вниз по отлогому пути. Потом он перенес свои эксперименты на горы Риновер (Rhinower), которые представляют конические холмы, дающие во все стороны пологие скаты от 10 до  $20^\circ$ . Эти горы оказались чрезвычайно удобными для полетов и позволяли Лилиенталю парить против ветра на высоте 20 м над

землей на протяжении нескольких сотен метров. Теперь Лилиенталь совершает свои полеты недалеко от Берлина (вторая станция по Лейпцигской дороге) на искусственно устроенной им конической горе (высота 30 м), в верхней части которой сделана обширная землянка для хранения его летательных аппаратов.

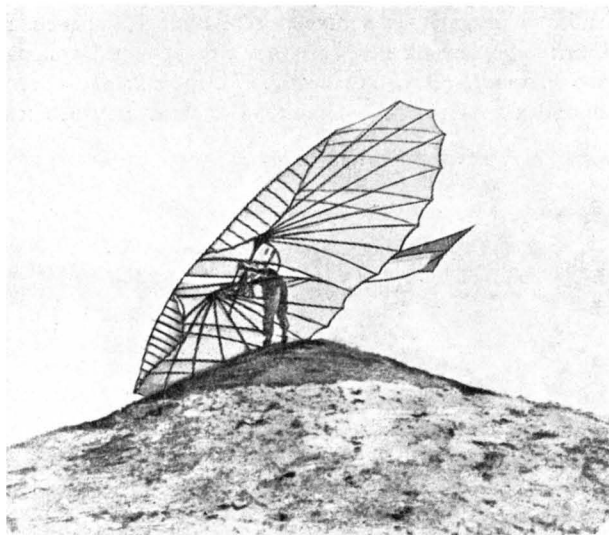


Рис. 2

На следующем снимке (рис. 2) Отто Лилиенталь представлен на вершине своей горы. Установив аппарат против ветра, для чего служит ему вертикальный хвост прикрепленный к задней части прибора, он бежит вниз с горы и, пробежав несколько шагов, подхватывается ветром, который поддерживает крылья подобно змею и позволяет экспериментатору опускаться вниз по отлогому пути (около  $10^\circ$  к горизонту), как это изображено на третьей фотографии (рис. 3).

При этом, вися на руках, Лилиенталь регулирует движение аппарата перемещением центра тяжести своего тела.

Всякий раз, как аппарат опускается быстро книзу, Лилиенталь пригибает ноги назад, если же аппарат забирает вверх, то аэронавт продвигает свои ноги вперед; склонение аппарата направо поправляется передвижением тела налево и наоборот.

Все эти движения делаются инстинктивно (подобно управлению бициклом), и при ударах встречного ветра Лилиенталь сейчас же продвигает ноги вперед, хотя было бы интересно дать ветру поднять себя вверх. Впрочем, при одном подобном маневре Лилиенталь было поплатился жизнью за свое стремление одержать победу над воздухом. Встречным ветром в 15 м он был поднят на высоту 20 м, причем крылья по-

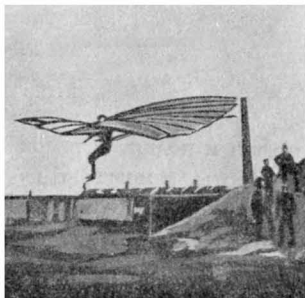


Рис. 3

вернулись передним концом вверх. Вот какими словами описывает он свое состояние в журнале «Luftschiifahrt»: «Я имел перед своими глазами только голубое небо с белыми облаками и ждал, когда аппарат устремится вниз, и мои опыты над парением, может быть, навсегда прекратятся». Но обстоятельства сложились благополучно: после нескольких колебаний в воздухе назад и вперед, подобно падающей пластинке, аппарат спустился вниз, и воздухоплаватель отделался легкой раной лица.

Это не уменьшило энергии Отто Лилиенталя. Прикрепив на ноги резиновые подошвы и резиновые наколенники, он смело бросается со своей горки и несется, маневрируя в воздухе и крича сверху наблюдающим его гостям: «O wie schön!»

А гостей съезжается много. Когда этою осенью я имел удовольствие воспользоваться любезным приглашением Лилиенталя и посетил его гору близ Берлина, то вместе со мной и еще двумя русскими техниками на полетах присутствовали немецкий фотограф-любитель, англичанин и американец.

Приезжают гости издалека со своими фотографическими камерами и развозят по всему свету закрепленные на бумаге маневры летателя, о которых он сам едва может дать отчет.

Первые три фотографии (рис. 1, 2, 3) сделаны П. В. Преображенским во время его пребывания в Берлине этим летом. Последняя (рис. 4) представляет один из тех полетов, которые удалось видеть мне.

Был довольно сильный ветер (от 7 до 9 м), и Лилиенталь летал на своем маленьком бипланном аппарате, который состоит из двух вогнутых планов, каждый в  $9\text{ м}^2$ . Этот аппарат менее громоздкий и лучше управляется.

Возвращаясь с нами на станцию, Лилиенталь развивал свои взгляды на летание. Он весь проникнут убеждением, что первое решение воздухоплавательной задачи будет получено парением людей наподобие орлов. Для этого, по его мнению, нужно, чтобы образовался воздухоплавательный спорт, подобный велосипедному. Нужно, чтобы при больших городах были устроены конусообразные холмы (около 50 м) с отлогими скатами (от  $10$  до  $20^\circ$ ), на которых любители спорта могли бы упражняться в летании. Что касается летательных аппаратов, то они обойдутся дешевле велосипедов (около 200 марок).

Подъезжая к Берлину, я думал о том направлении, которое получает теперь разрешение задачи аэронавтики. Стоящая громадных денег трехсотсильная машина Максима с ее могучими винтовыми пропеллерами отступает перед скромным ивовым аппаратом остроумного немецкого инженера, потому что первая, несмотря на ее большую подъемную силу, не имеет надежного управления, а с прибором Лилиенталья экспериментатор, начиная с маленьких полетов, прежде всего научается правильному управлению своим аппаратом на воздухе.

Являясь в форме направляемых шаров или могучих летательных машин, аэронавтические приборы представляют секреты правительств, потому что прежде всего преследуют военные цели. Развиваясь же на почве мирного спорта, воздухоплавательная задача призывает к себе любителей всех национальностей для своего разрешения общим трудом на пользу всего человечества.

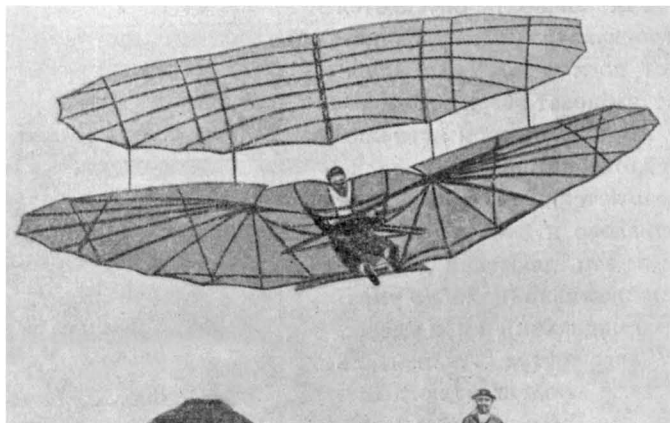


Рис. 4

---

26 октября 1890 г. Н. Е. Жуковский сделал сообщение в Отделении физических наук Общества любителей естествознания «Об исследованиях Лилиенталя о летании». Работа «Летательный аппарат О. Лилиенталя» была напечатана в журнале «Фотографическое обозрение», №1, 1895.



ОТТО ЛИЛИЕНТАЛЬ  
(1847–1896)

Н. Е. Жуковский

---

**О ГИБЕЛИ  
ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЯ  
ОТТО ЛИЛИЕНТАЛЯ**

(1896–1987 гг.)





Много раз с этой самой кафедры приходилось мне говорить перед вами о значительных исследованиях Отто Лилиенталь над способом летания против ветра наподобие парящих птиц.

Казалось, что за последнее время эти исследования значительно подвинулись вперед и манили близким решением недоступной до сих пор задачи о летании без баллонов. Устройство двупланного летательного аппарата позволило Лилиенталю получить большую подвижность в воздухе, а особое приспособление в хвосте прибора дало ему возможность с большей простотой делать повороты и описывать в воздухе дуги круга.

И вдруг, 9 августа (н. с.) посреди блестящих экспериментов, начатых при благоприятном ветре, не превосходящем 6 м/сек Лилиенталь был сражен налетевшим на него вихрем и пал, как воин на поле чести.

Уже три года совершал Лилиенталь свои полеты, которые, начавшись в 1893 г. небольшими прыжками в воздух с башни вблизи местечка Штеглиц (Steglitz) (около Берлина), достигли до полетов на 200 м по горизонту и на 20 м высоты на горах Риновер (Rhinower).

За это время он совершил множество полетов, которые оканчивались совершенно благополучно, причем опускание на землю, по словам Лилиенталья, не представляло ему более труда, чем соскакивание со стула.

Упражняясь при всякой удобной погоде на конической горе в 15 м, которую он построил около своей виллы в Лихтерфельде (Lichterfelde) (вторая станция от Берлина по Лейпцигской дороге), Лилиенталь достиг такого совершенства в управлении летательным аппаратом посредством перемещения своего тела, что крылья у него оставались всегда горизонтальными.

Только два раза полеты Лилиенталья были неудачны. Первая неудача произошла вследствие потери аэронавтом надлежащего места в аппарате, который поднялся передним краем вверх и был заброшен на высоту около 20 м, причем аэронавт повернулся лицом к небу. «Я имел перед своими глазами только голубое небо с белыми облаками, — пишет Лилиенталь в журнале «Luftschiiffahrt», — и ждал, когда аппарат устремится вниз, и мои опыты над парени-

ем, может быть, навсегда прекратятся». Но судьба судила иначе: аппарат, совершив в воздухе несколько колебательных движений наподобие падающего листа бумаги, плавно опустился, ударившись своим передним концом о рыхлую почву. При этом аэронавт поплатился только легкой раной лица, что нисколько не уменьшило его рвения к продолжению летательных экспериментов.

Вторая неудача была роковой. В воскресенье (9 августа) Лилиенталь приехал на горы Риновер со своим ассистентом, который был строителем его летательных аппаратов и всегда помогал Лилиенталю при его полетах. Первый полет Лилиенталь совершил на новом аппарате, имеющем приспособление для поворотов, и выполнил этот полет вполне удачно.

Второй полет он предпринял на своем двухпланном аппарате с парусностью  $18 \text{ м}^2$ , имея в виду совершить возможно продолжительное летание (полеты Лилиенталья с его искусственной горы в Лихтерфельде продолжались обыкновенно от 13 до 15 сек.). Своему ассистенту Лилиенталь передал секундомер для измерения продолжительности полета. Этот полет Лилиенталья, по рассказу ассистента, начался плавным ниспадением под острым углом к горизонту. Аэронавт уже долетел до подошвы горы, как вдруг быстро поднялся вверх и повис в воздухе на высоте около 30 м. Подобное обстоятельство не раз случалось с Лилиенталем, и потому ассистент его не был встревожен и ожидал выполнения обыкновенного маневра, который при этом делал Лилиенталь, т. е. перемещения ног и туловища вперед, причем аппарат обыкновенно нагибался вниз и скользил по воздуху, опускаясь и двигаясь навстречу ветру.

Но в данном случае желаемого результата не получалось, так что ассистент, бросив секундомер, побежал по направлению к воздухоплавателю. Вдруг он увидел, что от совершаемого Лилиенталем маневра летательный аппарат резко нагнулся передним краем вниз и быстро полетел на землю вместе с аэронавтом, наклоненным головой вперед. Не успел ассистент добежать до места катастрофы, как аппарат уже ударился о землю и, подпрыгнув два раза, остался неподвижным. Вместе с ним неподвижным лежал без чувств Отто Лилиенталь, на первый взгляд не получивший

никаких повреждений. Он был перенесен в ближайшую гостиницу и через два часа пришел в чувство.

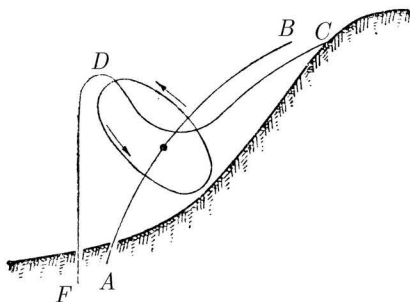


Рис. 1

При этом он не ощущал боли и выразил даже желание встать и опять продолжать опыты. Но руки и ноги его были парализованы, и он скоро впал опять в обморок.

Ассистент оставил его на попечение врача и отправился в город за братом Отто Лилиенталя, Густавом. Брат застал Отто Лилиенталя в обмороке, от которого знаменитый воздухоплатель уже не очнулся. Он был привезен в Берлин, в клинику кронпринца, в которой скончался, спустя 24 часа после своего падения. По определению врачей, смерть произошла от перелома спинного хребта.

Смерть знаменитого воздухоплателя вызвала в немецкой и иностранной литературе многие статьи и некрологи<sup>17</sup>. Давались различные объяснения причины катастрофы, которая, повидимому, произошла от удара ветра в аппарат сверху.

Я объясняю себе этот несчастный удар ветра так. На воздухоплателя набежал вихрь (рис. 1) с осью  $AB$ , наклоненной к горизонту. Действием этого вихря аппарат был сначала приподнят вверх, а потом подвергся удару нисхо-

<sup>17</sup>Наибольшего внимания заслуживают статьи Густава Лилиенталя («Für Alle Wel», Jahrg. 1897, Heft 5) и Дюбуа-Реймонда («Nature», vol. 54, № 1401).

дящего потока воздуха в свою верхнюю часть. От этого получилась траектория полета *CDE*.

Произошло то совпадение опасных условий полета, на которое указывал покойный Отто Лилиенталь, когда писал: «Только на короткое время аппарат может получить такое положение, при котором ветер ударяет в летательную поверхность сверху, тогда весь летательный аппарат устремляется со скоростью стрелы вниз и может разбиться о землю, прежде нежели удастся занять такое положение, при котором ветер опять будет поддерживать аппарат».

Что подобная несчастная случайность представляет исключительный случай, доказывают многочисленные удачные полеты Лилиенталья в продолжение трех лет.

Отто Лилиенталь родился 24 мая 1848 г. Еще в раннем возрасте стал он интересоваться вопросами о летании. С завистью заглядывался он на парящих в небе аистов. Одного молодого аиста он держал у себя дома, чтобы посмотреть, как птица начнет свои полеты; но когда она подросла, то он пустил ее на свободу, не желая лишать ее наслаждения свободного полета в воздухе.

Будучи мальчиком 13 лет, Лилиенталь устроил себе легкие крылья, которые он привязывал к спине, и сбегал с ними с горы. Эти первые детские попытки летания делал он вместе с своим братом Густавом обыкновенно при лунном свете, так как боялся насмешек товарищей.

Не обошлись без насмешек и первые серьезные исследования Отто Лилиенталья в области летания, которые он начал, окончив курс в *Berliner Gewerbe-Akademie*. Один из его профессоров таким образом отзывался об этих исследованиях: «Не беда, если Лилиенталь на досуге занимается вычислениями по летательной технике, но пусть он никоим образом не тратит на это дело денег». Ожидал ли профессор, что его ученик заплатит за свое любимое дело такой дорогой ценой?

Первые серьезные исследования Лилиенталья в летательной технике относились к определению силы удара крыльев. Он устроил крылья клапанной системы, которые приводил в движение действием ног, и, уменьшив вес экспериментатора и аппарата до 40 кг посредством противовеса, прикрепленного к веревке, перекинутой через высоко

поставленный блок, поднимался вверх, работая крыльями. При этом приходилось развивать очень большую работу, на которую человек способен только на короткое время. Поэтому такой способ летания был оставлен Лилиенталем, и он сосредоточил все свое внимание на действии ветра на кривые поверхности, обращенные вогнутостью вниз. Результаты своих замечательных исследований, в которых обнаружилось, что при малом угле наклона к ветру вогнутая поверхность дает подъемную силу, во много раз превосходящую подъемную силу плоской поверхности (при наклоне  $5^\circ$  в шесть раз бóльшую), Лилиенталь напечатал в 1889 г. в сочинении «Der Vogelflug, als Grundlage der Fliegekunst». В конце этого сочинения Лилиенталь излагает свои мысли о практическом применении найденных им результатов к летанию человека. Но за осуществление этих мыслей взялся он только по прошествии четырех лет.

В 1888 г. Отто Лилиенталь женился и занялся устройством машиностроительного завода. Происхождение этого завода находится в некоторой связи с летательными исследованиями Лилиенталя. Придумывая легкие двигатели, Лилиенталь изобрел особую систему паровых котлов, в которых вода поступала в нагретую спиральную трубку и выходила из другого конца этой трубки в виде пара. Эта система безопасных котлов составила главное производство его фабрики, которая, начавшись в скромных размерах, достигла через несколько лет блестящего состояния. Улучшение материального положения позволило Отто Лилиенталю перейти к практическому осуществлению надуманного им способа летания. При этом подготовленный им теоретический материал давал все расчеты для устройства летательных аппаратов. И вот, в 1893 г. появилось в печати известие, что человек летает по воздуху, что он совершил не один полет, но делает эксперименты постоянные, повторяя их по желанию интересующихся летательным делом лиц, и совершает их с вполне безопасным спуском на землю.

Я не стану повторять здесь изложение многочисленных экспериментов Лилиенталя, о которых было так много писано и говорено. Но я полагаю, что воздам должное па-

мяти покойного, если заставлю пробежать перед вашими глазами несколько рисунков, представляющих его замечательный способ летания.



Рис. 2

На рис. 2 представлен летательный аппарат Отто Лилиенталя, который имеется в Московском университете. Аппарат этот представляет неподвижно соединенные крылья, сделанные из ивовых прутьев и обтянутые голландским полотном. Вогнутость вниз устанавливается с помощью деревянных дуг, прикрепленных к верхней поверхности крыльев.

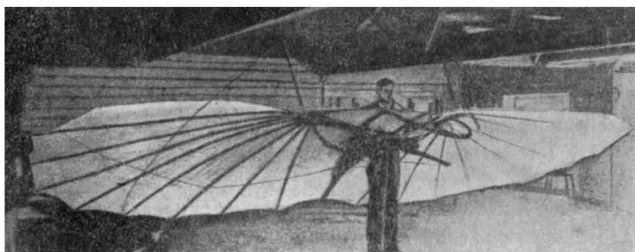


Рис. 3

На рис. 3 можно видеть способ надевания аппарата на руки и его нижнюю оснастку. Основу аппарата представляет ивовое кольцо, к которому приделан хомут для продевания рук и укрепления ивовых прутьев, образующих каркас крыльев.

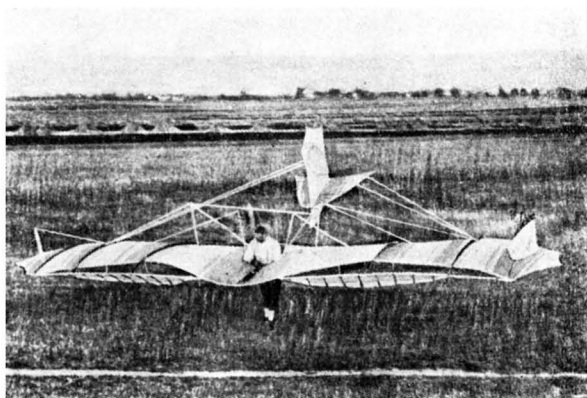


Рис. 4

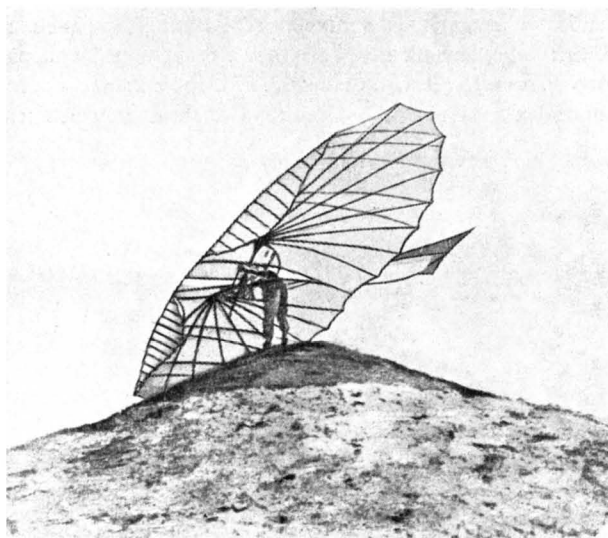


Рис. 5

На рис. 4 представлен Отто Лилиенталь с надетым на руки большим летательным аппаратом (7 м длины и  $2\frac{1}{2}$  м ширины). На этой фигуре виден способ укрепления хвоста прибора.

На рис. 5 изображен Отто Лилиенталь на вершине его искусственной горы в Лихтерфельде с аппаратом, расположенным против ветра. Пробежав на небольшое расстояние вниз горы, он подхватывается встречным ветром и летит по воздуху, медленно опускаясь вниз, как это представлено на рис. 6.

Фотографии (рис. 4, 5 и 6) сделаны П. В. Преображенским при его поездке в Берлин весной 1895 г.

Рис. 7 показывает маневр, который делает аэронавт, чтобы начать спуск на землю.

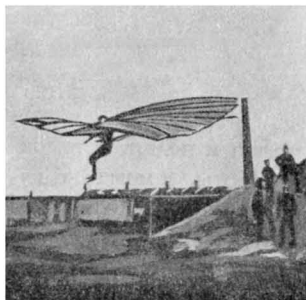


Рис. 6

На рис. 8 изображен маневр, которым поправляется подъем правого крыла вверх. Эта фотография снята с первых полетов Лилиенталья в Штеглице.

Рис. 9 представляет один из полетов Отто Лилиенталья в Лихтерфельде на его новом двупланном аппарате. При этих полетах удалось присутствовать мне во время моей поездки в Берлин осенью 1895 г. Дул сильный ветер — от 8 до 9 м.

Наконец, на рис. 10 изображен полет Лилиенталья на его двупланном аппарате с гор Риквер. Эти горы представляют разбросанные по песчаной долине конические холмы, достигающие высоты в 30 м. По мнению покойного аэронавта, они особенно удобны для его способа летания.

В одной из своих статей в журнале «Luftschiffahrt» Лилиенталь живо описывает чувство страха, которое ждало его грудь, когда он в первый раз смотрел с одной из вершин этих гор на расстилающуюся у его ног долину. «Мне думалось, — пишет он, — с этой выси должен ты парить над широко расстилающейся внизу страной». Судьба судила, чтобы полет на этом самом месте унес его в вечность.



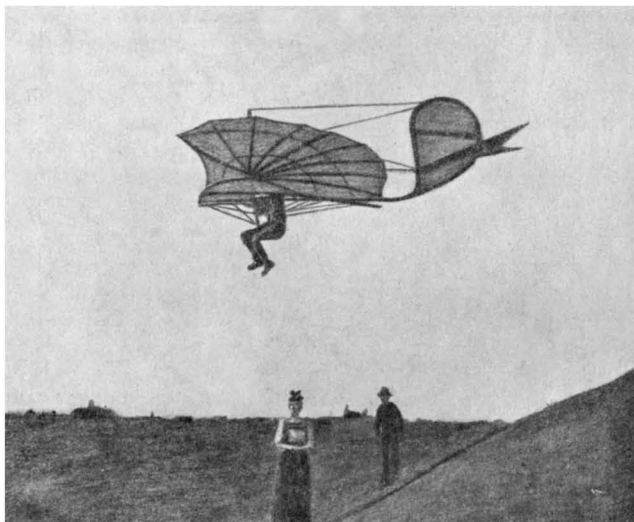


Рис. 7

Вы видите, что исследования Лилиенталя по аэронавтике дают нам совершенно выработанный способ летания, который, развившись на почве теоретических исследований и многочисленных опытов, перешел в область практического осуществления.

Правда, этот способ дает нам пока движение с горы против ветра с медленным ниспадением вниз; но при нем возможно и поднятие вверх, когда ветер усиливается, возможны повороты, а может быть, и движение по кругам наподобие парящей птицы.

Суждено ли этому способу быть оставленным вследствие гибели его изобретателя, или ему предстоит дальнейшее развитие и усовершенствование? Я должен сознаться, что в Германии гибель Отто Лилиенталя произвела панику. Один из наших московских любителей воздухоплавательного дела, З.Г. Лесенко, посетил Лихтерфельде в сентябре 1896 г., когда Отто Лилиенталя уже не было в живых. С помощью содействия Густава Лилиенталя З.Г. Лесенко удалось пробраться на знаменитую горку в сопровождении

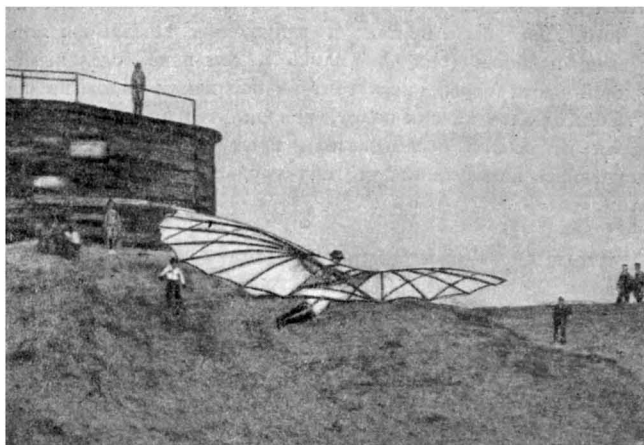


Рис. 8

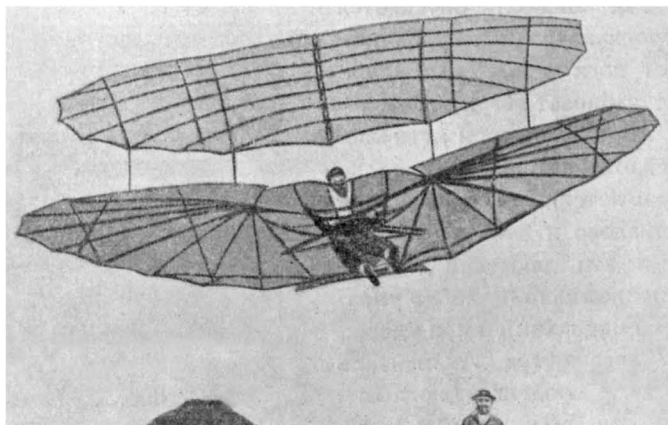


Рис. 9

ассистента покойного. Горка была в полном запущении. Показывая летательные приборы (они хранились в землян-

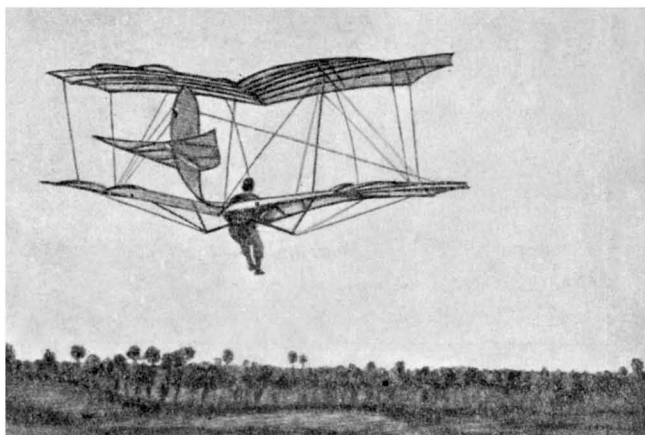


Рис. 10

ке, сделанной в верхней части горы), ассистент ни под каким видом не соглашался сделать на них полет, говоря, что присутствие при гибели отважного исследователя произвело на него столь удручающее впечатление, что ему трудно прикасаться к аппаратам.

Но первое тяжелое впечатление пройдет, и у любителей воздухоплавания останется в памяти, что был «летающий человек», который в продолжение трех лет совершил множество полетов, летая при всякой благоприятной погоде. Они вспомнят, что полеты этого летающего человека были обдуманы теоретически, проверены на практике и при небольшом ровном ветре являлись вполне безопасными.

И снова неутомимая жажда победы над природой проснется в людях, и снова начнут совершаться эксперименты Лилиенталя, и будет развиваться и совершенствоваться его способ летания.

А последователи Лилиенталя в Америке: Пилчер и Херинг (Pilcher и Hering)! Они сейчас имеют летательные аппараты, представляющие видоизменение аппарата Лилиенталя, на которых совершают самостоятельные полеты. Эти

воздухоплаватели будут продолжать дело, начатое знаменитым германским аэротехником.

Уже после гибели Лилиенталь американец Шанют (Chanute) поднялся на змее на высоту около 30 м и показал этим, что для смелых исследователей воздуха гибель товарища внушает чувство благоговения к почившему, но не чувство страха.

Не подлежит сомнению, что Лилиенталем сделаны крупные приобретения для разрешения задачи о полете тел, более тяжелых, чем воздух. Его имя занесется на страницы истории воздухоплавания рядом с именами других мучеников науки, пожертвовавших своей жизнью для разрешения великой воздухоплавательной задачи, и я убежден, что о Лилиентале вспомнят, как об ученом, изведавшем этой дорогой ценой важные тайны, ревниво охраняемые безбрежным воздушным океаном.

---

Эта речь была произнесена Н. Е. Жуковским на годовичном заседании Общества любителей естествознания в Москве 15 октября 1896 г. и напечатана в журнале «Воздухоплавание и исследование атмосферы» (под ред. М. М. Поморева), вып. 1, 1897.

---

## Отто Лилиенталь

### ПОЛЕТ ПТИЦ КАК ОСНОВА ИСКУССТВА ЛЕТАТЬ

*Дизайнер М. В. Ботя  
Технический редактор А. В. Ширококов  
Корректор З. Ю. Соболева*

---

Подписано в печать 26.09.02. Формат 80 × 100<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,64. Уч. изд. л. 12,14.  
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная №1. Заказ №55.

АНО «Институт компьютерных исследований»  
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1.

Лицензия на издательскую деятельность ЛУ №084 от 03.04.00.  
<http://red.ru> E-mail: [borisov@red.ru](mailto:borisov@red.ru)

---