



В. С. СКОБЕЛЬЦЫН

**В ПОМОЩЬ
РУКОВОДИТЕЛЮ
КРУЖКА
ПО
АЭРОДИНАМИКЕ**

У Ч П Е Д Г И З

1 9 5 3



В. С. СКОБЕЛЬЦЫН

**В ПОМОЩЬ
РУКОВОДИТЕЛЮ
КРУЖКА
ПО
АЭРОДИНАМИКЕ**

**(ОПЫТ РАБОТЫ
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ДВОРЦА ПИОНЕРОВ)**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
МОСКВА 1953**

Предисловие

Настоящая брошюра является отражением опыта работы технических кружков Ленинградского Дворца пионеров имени А. А. Жданова.

Брошюра состоит из двух частей. Первая часть содержит изложение элементов аэродинамики и описание проведения опытов по ней. Вторая часть брошюры посвящена описанию изготовления силами кружковцев аэродинамической трубы и некоторых простейших приборов по аэродинамике.

В разработке технологии изготовления приборов, описанных в брошюре, принимали участие педагоги Ленинградского дворца пионеров: Е. Ю. Толмачева, И. А. Коршун, Н. А. Касиков, И. И. Нильк, Н. М. Остроумов.



ЧАСТЫ ОПЫТЫ ПО АЭРОДИНАМИКЕ

1. Введение

Истоки истории многих областей науки и техники связаны с именами русских учёных и изобретателей. Заветная мечта человека — овладеть воздушными пространствами и подобно птицам плавать в этих воздушных просторах нашла своё отображение в легендах и сказаниях, дошедших до нас, в старинных летописях.

Штурм византийского города Царьграда (ныне Константинополя) войсками воеводы Олега в 907 г. в особенности стал замечателен тем, что Олег применил свою так называемую «воздушную рать», которая представляла собой «полчища» воздушных змеев, сделанных в виде устрашающих драконов и прочих чудовищ, наведших страх и ужас на врагов.

Многие более поздние сказания, как-то: о холопе боярского сына Лупатова Никитке, летавшем на самодельных крыльях в Александровской слободе, о первом воздушном шаре Крякутного, о кузнеце из Рязьска, по прозванию Чёрная Гроза, делавшего попытки летать на самодельных крыльях, и много других, говорят о замечательных дерзновениях смелых и пытливых русских людей.

В области исследований явлений и законов атмосферы незыблемые основы впервые в мире заложил величайший русский учёный М. В. Ломоносов. Его стремление познать наслоения верхних слоёв атмосферы привели к появлению на свет в 1754 г. замечательного проекта прибора, «могущего подняться в верхние слои атмосферы», прибора, являющегося прообразом современного вертолёта. Учение Ломоносова о сжимаемости газов помогло создать стройную науку: молекулярно-кинетическую теорию газа. Наука аэродинамика, т. е. физика полёта или, точнее, наука, изучающая поведение тел в воздушном потоке, обязана появлением на свет таким величайшим русским учёным, как Д. И. Менделеев, Н. Е. Жуковский, К. Э. Циолковский и другие.

Венцом славы истоков русской авиации явилась работа А. Ф. Можайского, давшего миру первый самолёт, полёт которого был осуществлён в 1882 г. на военном поле Красного Села под Ленинградом.

2. О воздушной среде

Воздушный океан, повсеместно окружающий нашу планету, составляющий так называемую атмосферу, представляет собой механическую смесь газов в составе: азота 78%, кислорода 21%, 1% аргона и других газов. Удельный вес воздуха, или вес 1 м его, при температуре +15° и атмосферном давлении 760 мм, равен 1,225 кг. Эта величина иначе называется весовой плотностью воздуха и обозначается $\gamma =$
 $= 1,225 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

В аэродинамике обычно пользуются не весовой, а так называемой массовой плотностью воздуха —

Из механики известно, что плотность вещества равна удельному весу вещества, делённому на ускорение силы тяжести: $\rho = \frac{\gamma}{g}$.

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1,225 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{9,81 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}} = 0,125 \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}} = 0,125 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4};$$

$$\rho = 0,125 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4}.$$

Известно, что за стандартное давление в одну атмосферу принимают давление ртутного столба в 760 мм высоты на уровне моря при $+15^\circ\text{C}$. С высотой давление и температура меняются, следовательно, и массовая плотность воздуха — величина непостоянная, и она обычно при аэродинамических расчётах находится из соответствующих таблиц, в зависимости от давления, температуры и влажности.

Что же испытывают тела, помещённые в воздушный поток или передвигающиеся с определённой скоростью в воздушной среде?

3. Аэродинамическое сопротивление

Если поместить в воздушный поток квадратную пластинку площадью в 1 м^2 так, чтобы её плоскость была перпендикулярна струям потока, то:

1) при скорости потока (ветра) в 20 км/час пластинка будет испытывать силу давления, равную 25 кг ;

2) при увеличении скорости потока вдвое, т. е. до 40 км/час , сила давления на пластинку увеличится до 100 кг ;

3) при новом удвоении скорости потока до 80 км/час сила давления возрастает до 400 кг.

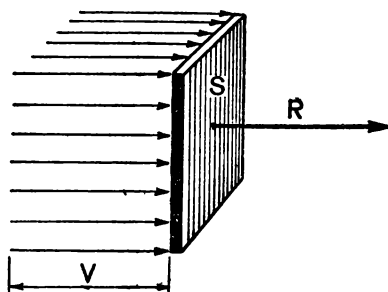


Рис. 1

Таким образом, видно, что величина давления воздушного потока на пластинку, или величина сопротивления пластинки воздушному потоку (что то же самое по III закону Ньютона), прямо пропорциональна квадрату скорости.

Направленное перпендикулярно к телу давление воздушного или газового потока в аэродинамике называется динамическим давлением, или, как говорят, скоростным напором, и определяется кинетической энергией движущегося газа. Пользуясь известной нам из механики формулой кинетической энергии: $K = \frac{mv^2}{2}$ и заменив в ней массу тела «массовой плотностью газа» (ρ), получим для скоростного напора (q) выражение:

$$q = \frac{\rho v^2}{2}.$$

Величина силы аэродинамического сопротивления зависит от площади поперечного сечения тела, находящегося в потоке, а также от формы этого тела.

Таким образом, сила сопротивления, испытываемая телом в воздушном потоке, может быть выражена следующей формулой:

$$R = C \cdot s \frac{\rho v^2}{2},$$

где R — сила сопротивления в $\kappa\Gamma$;

C — коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела (безразмерная величина);

ρ — плотность воздуха в $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4}$;

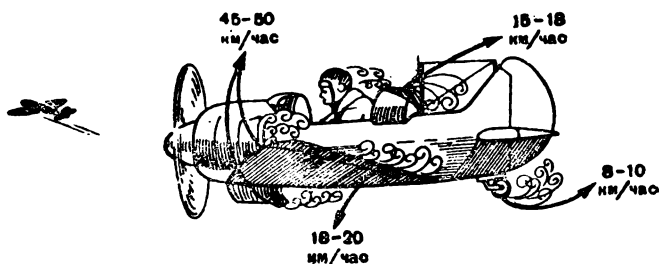
s — площадь наибольшего поперечного сечения тела, перпендикулярного потоку, иначе — площадь миделя в м^2 ;

v — скорость движения в $\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$.

Тела различной геометрической формы и разной величины в воздушном потоке будут оказывать различные сопротивления. Но можно изготовить различные тела так, чтобы они оказывали одинаковое сопротивление. Так, телами равного сопротивления будут: чашечки диаметром 14,5 мм; круглые пластинки диаметром 16,5 мм; цилиндр высотой 20 мм и диаметром 20 мм; конус, расположенный в потоке вершиной вперёд, с диаметром основания 25,5 мм и шарик диаметром 37 мм.

Величина сопротивления также меняется и от степени обработки (гладкости) поверхности обтекаемого предмета. Чем тщательнее отполировано тело, чем оно глаже, тем меньше трение о его поверхность частичек воздуха, тем меньше сопротивление. Так, например, советский автомобиль «Победа» типа лимузин (с металлической крышей) может развить максимальную скорость в 105 км/час, а такой же легковой автомо-

биль «Победа» типа кабриолет (с брезентовой крышей) может развить скорость не более 100 км/час, несмотря на то, что у него такая же мощность мотора и такое же число седоков, а вес даже меньше. Причиной этой разницы является то, что обтекаемость второго автомобиля хуже из-за неровной и шероховатой поверхности брезентовой крыши.



Другой пример:

Самолет-истребитель теряет в скорости 15—18 км/час, если лётчик забыл закрыть козырёк; теряет 8—10 км/час, если лётчик забыл убрать костыльное колесо; теряет 45—50 км/час, если лётчик не установил боковые створки капота радиатора по потоку.

Он теряет в скорости потому, что лётчик ухудшил обтекаемость своей машины, он увеличил её аэродинамическое сопротивление.

Вот почему во всех видах современного транспорта такое большое внимание при конструировании и постройке уделяется внешней форме.

Посмотрим, как будут вести себя тела различной формы в воздушном потоке аэродинамической трубы.

Аэродинамическая труба — это прибор, создающий искусственный, по возможности выпрямленный, воздушный поток. Первые аэродинамические трубы у нас

в России появились в конце прошлого столетия. Они были созданы и построены нашими великими учёными К. Э. Циолковским и Н. Е. Жуковским. Эти учёные мировой известности явились основоположниками теоретической и экспериментальной аэродинамики.

Опыт 1.

Установим трубу вертикально, а на весах укрепим круглую пластинку так, чтобы она пришлась в центре потока и на расстоянии 12—15 см от края трубы (рис. 2).

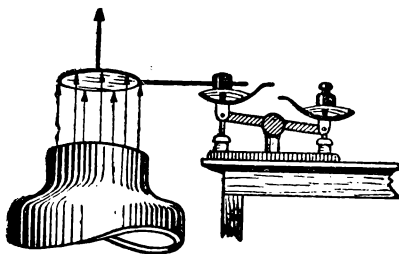


Рис. 2

Уравновесим весы и включим мотор. Воздушный поток, встретив на пути пластинку, поднимет её вверх. Не выключая потока, вновь уравновесим весы гирьками. После этого выключим мотор и подсчитаем, что для уравновешивания силы сопротивления круглой пластинки потребовалось N граммов.

Опыт 2.

Теперь сделаем такую же продувку с шаром того же миделя и узнаем, что его сопротивление оказалось M граммов.

Опыт 3.

И наконец, сделаем продувку каплеобразной формы тела опять такого же миделя. Здесь сопротивление оказалось L граммов.

В этом опыте мы убедились, что при одной и той же скорости потока, при одном и том же миделе тела различной формы имеют весьма разные сопротивления.

В чём же разница?

Разница в том, что коэффициент сопротивления (C) (форма тела) у различных тел разный, и он существенно меняет численную величину общего аэродинамического сопротивления.

В этих случаях, когда тело встречает воздушный поток прямо «в лоб», т. е. ось симметрии тела расположена прямо по потоку, — сила сопротивления называется силой лобового сопротивления и обозначается буквой Q , коэффициент сопротивления — коэффициентом лобового сопротивления и обозначается буквой C_x .

4. Спектр обтекания

Если невидимый прозрачный воздушный поток, обтекающий какое-либо тело, окрасить дымом, то мы увидим картину, которая называется спектром обтекания.

Опыт 4.

Тонкую палочку с пучком легчайших шелковинок (щуп) введём в воздушный поток аэродинамической трубы. Мы увидим, что шелковинки располагаются по направлению параллельных струй потока. Теперь введём в поток круглую пластинку и вновь с помощью щупа посмотрим, как ведут себя шелковинки

Поведение шелковинок укажет нам на то, что воздушные струи как впереди, так в особенности сзади пластинки начали сильно закручиваться — завихряться (рис. 3).

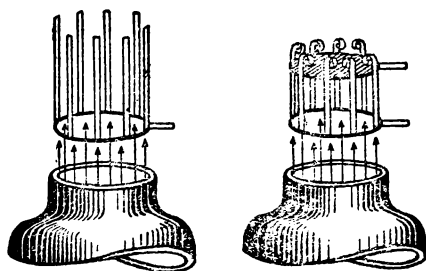


Рис. 3

Если вместо круглой пластинки мы поместим в поток шар, то увидим, что завихрения уменьшились, а если в этот же поток поместим тело каплеобразной,

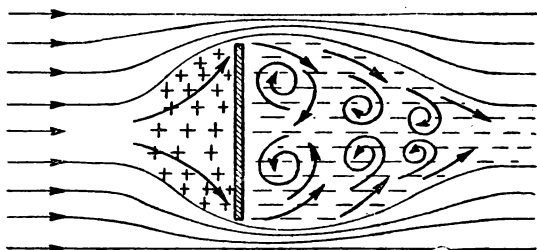


Рис. 4

удобообтекаемой формы, то наш щуп почти не обнаружит завихрений.

Рассмотрим спектр обтекания пластинки (рис. 4).

Перед пластинкой струйки потока, расступаясь, сжимаются, огибают её со всех сторон, по инерции двигаются дальше и отрываются от пластинки. Это явление называется срывом струи. Вследствие срыва струи позади пластинки образуется разрежение, т. е. область пониженного давления. Воздух врывается в эту область пониженного давления и, стремясь заполнить её, начинает двигаться в обратном направлении, образуя вихри и попутные токи (вихревое или турбулентное движение воздуха). По мере удаления от пластинки вихревое образование уменьшается, поток постепенно выравнивается и далее движется с той скоростью, с какой он двигался далеко впереди пластинки.

Таким образом, то лобовое сопротивление, которое было вначале порождено динамическим давлением или скоростным напором, увеличилось благодаря создавшимся вихрям — благодаря разрежению за пластинкой.

В том случае, когда мы наблюдали спектры обтекания шара и каплеобразной формы тела, мы видели гораздо меньше вихрей, а следовательно, меньшее разрежение за телом и меньший прирост дополнительного лобового сопротивления.

Отсюда становится ясным смысл и значение коэффициента лобового сопротивления C_x в формуле:

$$Q = C_x s \frac{\rho v^2}{2},$$

служащей для подсчёта лобового сопротивления тел различной формы в воздушном потоке.

Опыт 5.

Поставим диффузор аэродинамической трубы горизонтально (рис. 5).

В воздушный поток трубы поставим неподвижно закреплённый диск *А* и лёгкий подвижной диск *Б*, свободно скользящий по спице, соединяющей центры этих круглых дисков. При включении воздушного по-

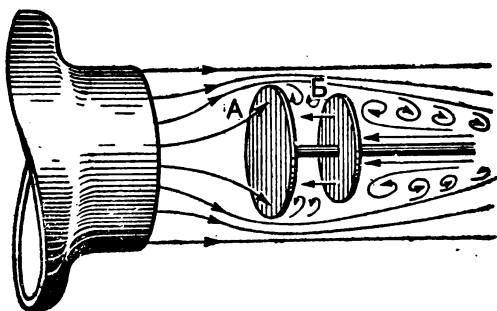


Рис. 5

тока диск *Б* начнёт приближаться к диску *А*, пока к нему не прижмётся. Этот простейший опыт позволяет обнаружить пониженное давление позади первой пластинки *А*, встречающей «в лоб» воздушный поток.

Пример к опыту 5.

Стоит обратить внимание на автобус, троллейбус или же на плохо обтекаемый легковой автомобиль, идущие по пыльной или заснеженной дороге, и мы заметим, что самой грязной (заброшенной пылью или снегом) всегда окажется задняя стенка.

Это явление весьма просто объяснимо возникновением разрежения и вихреобразования позади плохо обтекаемых тел.

Автобус, у которого задняя стенка обычно прямая, при быстром ходе создаёт сзади себя разрежение и вихреобразование воздуха. Частицы пыли или снега

поднятые колёсами от земли, вместе с вихрями устремляются в это разрежённое пространство и прилипают к задней стенке машины.

Современные вентиляционные устройства зданий, промышленных установок, а также и транспорта конструируются по законам аэродинамики.

Интересно рассмотреть устройство и работу вентиляторов современного автобуса и троллейбуса. На крышах автобусов и троллейбусов установлено несколько «грибков» с гребешками.

На рисунке 6 показан схематический разрез такого вентилятора.

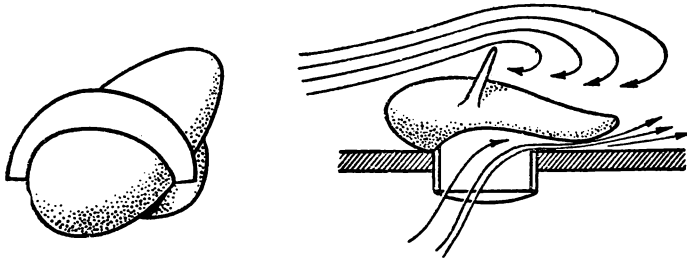


Рис. 6

При движении автобуса струи воздушного потока, проходящие над крышей, встречают на своём пути гребешки (завихрители). Проходя над ними, струи сильно завихряются и создадут сзади них зону сильного завихрения, а следовательно, и область пониженного давления. Сюда устремится более сжатый воздух изнутри автобуса.

5. Статическое давление воздуха, закон Бернулли

Как и всякое движущееся тело, газ или воздух может производить работу, т. е. обладает некоторым

запасом кинетической энергии (энергии движения) и потенциальной энергии (энергии давления).

Потенциальная энергия единицы объёма (1 см^3) движущегося газа называется статическим давлением или просто давлением.

Статическое давление движущегося газа — это давление газа на поверхность (стенку), вдоль которой газ движется, т. е. давление, действующее перпендикулярно линиям тока.

Как меняется это давление с изменением скорости движения?

Опыт 6.

Дунем в пространство между двумя металлическими, слегка изогнутыми пластинками, подвешенными на проволочной рамке.

Пластинки плотно сойдутся между собой.

Пока пластинки висели спокойно, на них со всех сторон действовало равное давление. Как только мы начали дуть, между ними возникло падение статического давления (на стенки перпендикулярно струям тока) и наружное давление, оставшееся прежним, сдавило наши пластинки. То же самое мы увидим, если поместим этот прибор в потолок аэродинамической трубы (рис. 7).

Здесь поток обдувает пластинки со всех сторон, но сама форма пластинок заставляет сжиматься струи между ними, а следовательно, и увеличивать их скорость в отношении окружающего потока. Опять получилось падение статического давления в месте, где скорость потока увеличилась. Пластинки вновь плотно сжались между собой.

Опыт 7.

В трубку, оканчивающуюся круглым диском, жёстко прикреплённым к ней, подуем с силой изо рта.

Вторая лёгкая металлическая пластинка (незакреплённая), помещённая параллельно первой, подпрыгнет и прижмётся, совершая колебательные движения рядом с первой пластинкой. В этом случае, продувая

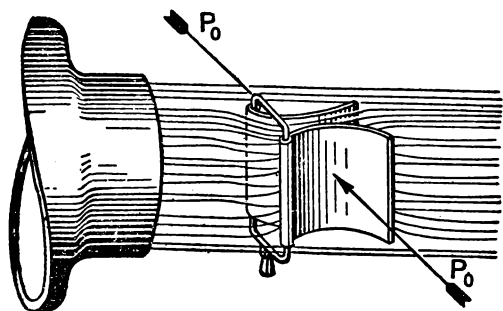


Рис. 7

струю воздуха между двумя параллельными пластинками, мы также создаём там падение статического давления (разрежение), куда и устремляется лёгкая пластинка под действием оставшегося прежним наружного давления (снизу) (рис. 8).

Опыт 8.

В металлической трубке, закрытой с одного конца, в стенке сделано тонкое отверстие. Начнём изорать в открытый конец трубки и аккуратно в эту тонкую струю (на расстоянии 3—4 см от отверстия) введём лёгкий пробковый шарик. Шарик немного

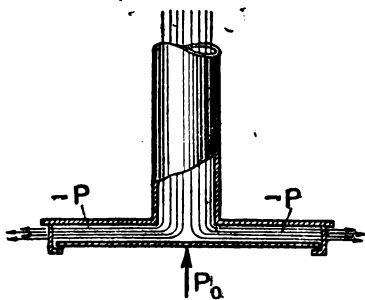


Рис. 8

подпрыгнет, но останется в воздушной струе, совершая в ней беспорядочные движения.

Скоростной напор подбросил шарик. Лобовое сопротивление шарика в потоке не даёт ему падать вниз. Создавшееся сужение струй вокруг стенок шарика увеличивает их скорость, а вместе с тем уменьшает статическое давление. Большее давление, которое окружает всю струю воздуха, не даёт шарика выскочить в сторону (рис. 9).

Опыт 9.

Если же мы положим шарик в ямку (в раззенкованное отверстие), то сила воздушной струи его от-

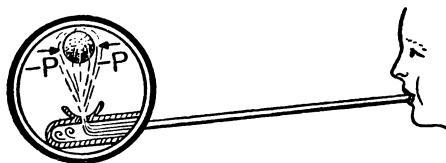


Рис. 9

туда уже не вытолкнет, ибо между стенкой ямки и параллельной ей образующей шарика возникло падение статического давления, ввиду увеличения скорости потока (рис. 10).

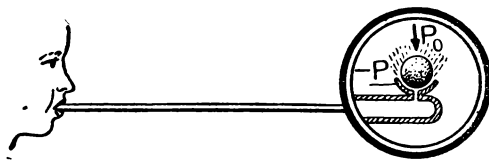


Рис. 10

Это явление — падение статического давления в струях жидкостей и газов — вытекает из закона Да-

нила Бернулли, члена Петербургской Академии наук. Одно из следствий этого закона гласит: при увеличении скорости струи статическое давление в ней уменьшается.

Законом Бернулли объясняется:

1) Действие пульверизатора (рис. 11).

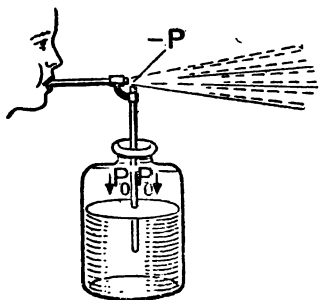


Рис. 11

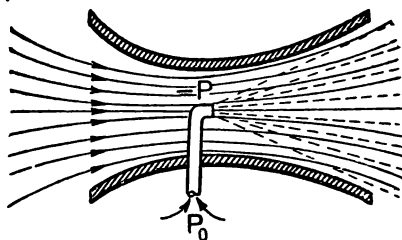


Рис. 12

2) Принцип действия автомобильного и авиационного карбюраторов (рис. 12).

3) Притяжение кораблей, идущих параллельным курсом (рис. 13).

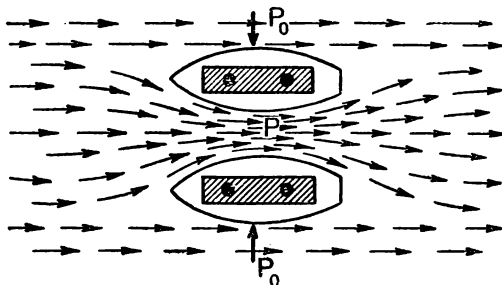


Рис. 13

4) Давление над крышей, в особенности с подветренной стороны, меньше, чем под крышей (рис. 14), что приводит нередко, при сильном ветре, к срыву крыши вверх.

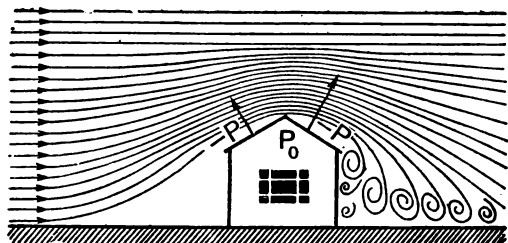


Рис. 14

6. Несимметричное обтекание. Возникновение подъёмной силы крыла

Уже с давних времён было известно свойство плоской пластинки создавать подъёмную силу или боковую силу, если на пластинку набегает под некоторым углом воздух или вода. Примерами этого служат воздушный змей и руль корабля.

Опыт 10.

В поток аэродинамической трубы установим уравновешенную на весах пластинку. В том случае, когда эта пластинка будет строго параллельна линиям потока, она будет оставаться уравновешенной (рис. 15) при включении потока.

В том случае, когда мы хоть немного повернём плоскость пластинки и образуем положительный или отрицательный угол её с линиями потока, то пластинка поднимется вверх (при положительном угле) или опустится вниз (при отрицательном угле) (рис. 16).

В том и ином случае мы можем отклонившуюся пластинку вновь уравновесить и численно определить (в граммах) величину подъёмной или опускающей силы. Увеличив этот угол, убеждаемся, что сила

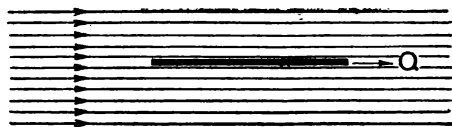


Рис. 15

подъёма или опускания возросла. Таким образом, величина подъёмной силы наклонной плоскости зависит от угла, образованного между этой плоскостью и линиями потока (направлениями линий потока).



Рис. 16

Этот угол в аэродинамике называется углом атаки и обозначается буквой α .

Как возникает подъёмная сила при помещении наклонной пластинки в воздушный поток?

Перед пластинкой (рис. 17) имеет место расширение струи воздушного потока, т. е. уменьшение скорости, а следовательно, повышение давления.

За пластинкой имеет место вихреобразование, что говорит о наличии там разрежения, а, кроме того, над

передним ребром пластинки (ребром атаки) имеет место сужение потока, а следовательно, и увеличение его скорости, что говорит и о падении статического давления. Струи же, обтекающие пластинку снизу, отклоняются от своего первоначального направления — происходит, как говорят, снос потока.

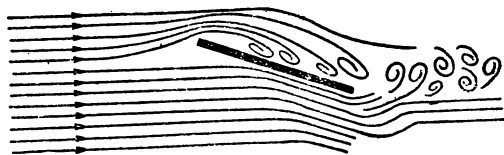


Рис. 17

Благодаря несимметричности обтекания, сила сопротивления будет приложена не в центре пластинки, а ближе к ребру атаки, там, где разрежение наибольшее. Возникает эта сила в результате разности давления впереди пластинки и за ней.

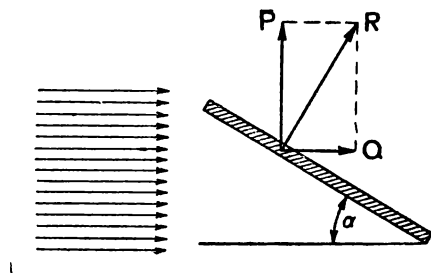


Рис. 18

Силу R можно разложить по правилу параллелограмма на две силы: по потоку и перпендикулярно потоку (рис. 18).

Силу, направленную по потоку (прямо против движения), называют, как и в случае симметричного обтекания, силой лобового сопротивления или просто лобовым сопротивлением и обозначают буквой Q . Силу же, направленную перпендикулярно потоку, называют подъёмной силой и обозначают буквой P .

Подъёмная сила всегда перпендикулярна направлению потока (направлению движения) (рис. 19).

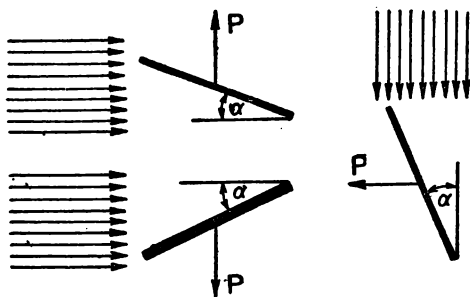


Рис. 19

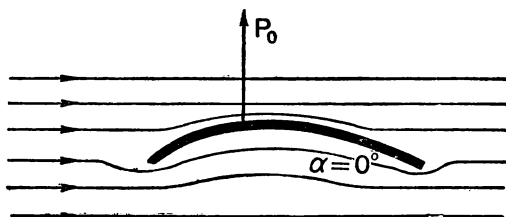


Рис. 20

Опыт 11.

В поток аэродинамической трубы установим изогнутую пластинку (рис. 20) под нулевым углом атаки.

Вначале уравновешенная на весах пластинка в потоке поднимется вверх.

Определим величину подъёмной силы. Придав пластинке небольшой положительный угол атаки, увидим значительное увеличение подъёмной силы.

Если посмотрим на спектр обтекания изогнутой пластинки при нулевом угле атаки, то увидим картину, изображённую на рисунке 21.

Под пластинкой линии потока мало меняют своё направление и почти не сгущаются, а следовательно, скорость потока v очень мало изменяется по отношению скорости потока v_1 . Но над выпуклой наружной стороной пластинки линии воздушного потока вынуждены сгущаться, а следовательно, и увеличивать скорость пробега, да и путь прохождения потока над пластинкой больше, чем под ней.

Отсюда следует, что скорость v_2 больше, чем скорости v и v_1 , поэтому статическое давление над пластинкой падает, становится заметно меньше, чем под пластинкой. Возникшая разность давлений и создаёт подъёмную силу, действующую на изогнутую пластинку. С увеличением угла атаки $+ \alpha$) возрастание подъёмной силы получается благодаря известному уже явлению — появлению подъёмной силы в результате наклона плоскости к потоку (рис. 18).

Первые конструкторы и строители самолётов использовали это явление, а потому и строили крылья своих «летательных машин» не плоскими, как змей, а изогнутыми. Это свойство используют и поныне наши авиамоделлисты, которые в своих схематических моделях планёров и самолётов обязательно крылья делают изогнутыми. Крыло современного самолёта имеет толстый профиль, что ещё больше увеличивает

эффект подъёмной силы, а главное, позволяет значительно увеличить прочность всего крыла.

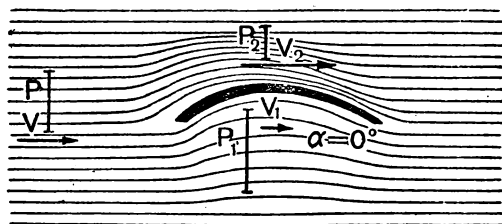


Рис. 21

Опыт 12.

В поток аэродинамической трубы установим, уравновесив на весах, пластинку, имеющую в сечении форму профиля крыла самолёта (рис. 22).

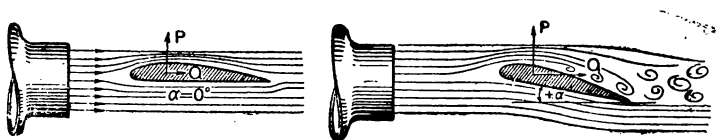


Рис. 22

Определим взвешиванием величину подъёмной силы вначале при нулевом угле атаки $\alpha = 0$, затем $\alpha = 5^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\alpha = 10^\circ$ и т. д. Мы увидим, что с увеличением угла атаки примерно до $14-16^\circ$ подъёмная сила будет возрастать, но наступит такой момент, когда она, дойдя до своего максимума, при дальнейшем увеличении угла атаки начнёт падать. В аэродинамике такой угол атаки, при котором подъёмная

сила крыла данного профиля наибольшая, называют критическим.

З а к л ю ч е н и е

Развитие современной авиации, её успехи и достижения во многом зависели от того, как успешно разрешались проблемы и вопросы теоретической и экспериментальной аэродинамики. Те теоретические и практические исследования аэродинамики самолёта, основы которой дал наш русский учёный Николай Егорович Жуковский, развили и углубили его ученики: акад. А. С. Чаплыгин, акад. Юрьев, акад. Туполев и другие. На основе работ этих учёных появились наши первоклассные боевые и гражданские самолёты, созданные конструкторами Туполевым, Лавочкиным, Яковлевым, Микояном, Петляковым, Ильюшиным и другими.

Список рекомендуемой литературы по вопросам авиации и аэродинамики для проведения лекций, бесед и докладов учащихся в физическом кружке или на тематическом вечере:

1. В. В. Данилевский, Русская техника.
 2. А. Жабров, Элементарная теория полёта самолёта, ч. I, изд. Ц. С. Осоавиахима СССР, 1939.
 3. К. Шют, Введение в физику полёта. Изд. технико-теоретической литературы, 1938.
 4. Гумилевский, Крылья Родины, Детгиз, 1945.
 5. Космодемьянский, Знаменитый деятель науки К. Э. Циолковский, изд. «Библиотечки для солдата и матроса», 1949.
 6. Н. Черемных и И. Шипилов, Создатель первого в мире самолёта А. Ф. Можайский, изд. «Библиотечки для солдата и матроса», 1949.
 7. Г. Залуцкий, Г. Е. Котельников — изобретатель первого ранцевого парашюта, изд. «Библиотечки для солдата и матроса», 1949.
 8. А. А. Жабров, Теория и техника полёта, ч. I, изд. Досарм, Москва, 1951.
 9. Ковалёв, Аэродинамические исследования летающих моделей.
-



ЧАСТЬ II

ИЗГОТОВЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ И ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПЫТОВ С НЕЙ

1. Диффузор настольной аэродинамической трубы

Диффузор представляет собой цилиндрическую трубу с округлённым плечом, переходящим в суженную горловину. Внутри диффузора, в месте перехода цилиндрической его части в округлённое плечо, устанавливается сетка с квадратными ячейками, спрямляющая поток воздуха (рис. 23).

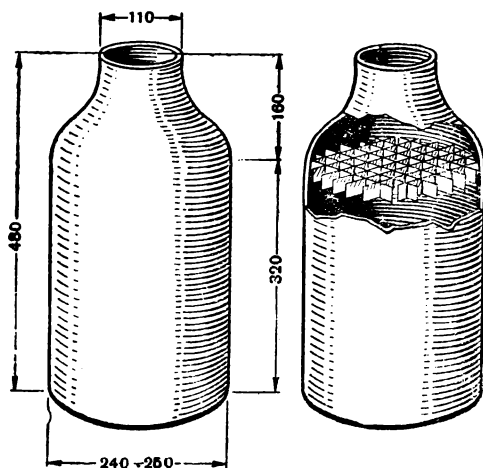


Рис. 23

Высота цилиндрической части диффузора 320 мм, высота плеча с горловиной 160 мм, общая высота диффузора 480 мм; внутренний диаметр диффузора 250—240 мм, горловины 110 мм; ширина планок направляющей сетки 50 мм, сечение ячеек сетки 30 мм × 30 мм. Цилиндр диффузора надо накатать из толстой бумаги, по болванке. Болванкой может служить ведро, бидон, отрезок трубы, хорошо обровненный отрезок бревна и т. п. Диаметр болванки должен соответствовать внутреннему диаметру диффузора, т. е. 250—240 мм. Материалом для цилиндра может служить любая толстая бумага — обойная, обёрточная, карточная, толевый картон и т. п. Заготовьте бумагу для накатки цилиндра полосами шириной в 320 мм, с длиной полос не менее одного метра (чем длиннее, тем лучше). Указать точно длину полос здесь нельзя, так как она будет зависеть от имеющегося у вас материала.

Первый виток болванки делайте из сухой бумаги, чтобы она не прилипла к болванке. Все последующие витки накатывайте на болванку, смазывая бумажную полосу мучным клейстером. Смазывайте бумагу клейстером равномерно, без сгустков и пропусков. Накатывая цилиндр, следите, чтобы бумажная полоса ложилась на болванку совершенно параллельно, чтобы кромки полосы не уходили в «спираль» и чтобы между витками бумаги не было пузырей воздуха и просветов (рис. 24).

Количество витков бумаги при накатке цилиндра зависит от толщины бумаги. Толщина стенок цилиндра должна быть 7—8 мм.

Накатанный на болванку цилиндр поставьте около тёплой печи или батареи парового отопления. Не снимайте цилиндр с болванки до полной просушки,

иначе он покоробится и потеряет правильную цилиндрическую форму.

Для плеча и горловины диффузора подобрать готовую болванку трудно. Её надо выкатать из глины, по лекалу, по глиняной болванке вылепить плечо с горловиной из папье-маше. Возьмите обыкновенную

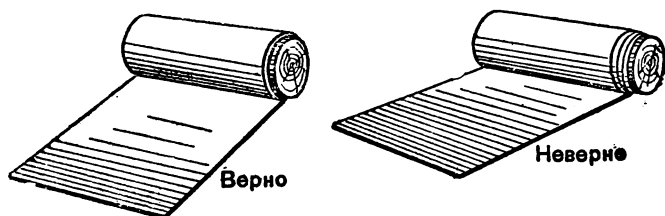


Рис. 24

глину, какую употребляют для гончарных или печных работ, только без примеси песка. Глина должна быть влажная, в виде густого теста, не прилипающего к рукам. Плечо с горловиной должно быть правильной, симметричной формы. Для этого надо сделать лекало из 5-миллиметровой фанеры (рис. 25).

К верхней части лекала прибейте мелкими гвоздями вертикальный хомутик для оси (см. рис. 3). К нижней части лекала прибейте ровный горизонтальный брусок, толщиной 40×40 мм (рис. 25), длиной 270 мм. Для оси подберите металлический стержень или кусок стальной проволоки диаметром 5—6 мм, длиной 30 см. Возьмите ровный кусок фанеры (можно старой) размером 800×800 мм. Сделайте основу для оси из кусков доски размером 70×70 мм, прибитых один на другой; высота основы 100 мм. В центре про-

сверлите сквозное отверстие, равное по диаметру оси лекала (рис. 26).

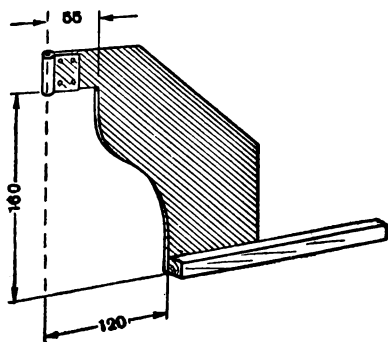


Рис. 25

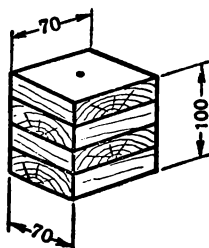


Рис. 26

Прибейте основу ровно в центре фанеры. Проденьте ось через вертикальный хомутик лекала и установите её в основу. Проследите, чтобы ось была строго перпендикулярна фанере и чтобы горизонтальный брусок плотно касался фанеры (рис. 27).

Проверьте, как работает лекало. Лекало должно свободно вращаться вокруг оси, ось не должна колебаться в основе и отклоняться от перпендикулярного положения, брусок должен свободно перемещаться по фанере, постоянно соприкасаясь с ней, не задерживаясь в отдельных точках и не отрываясь от фанеры. После проверки укладывайте глину вокруг оси и постепенно вращайте лекало, плотно прижимая брусок к фанере. Все излишки глины будут срезаны лекалом, как ножом. В тех местах, где лекало не захватывает глины, нужно глины добавлять. Очищайте лекало от прилипшей к нему срезанной глины (рис. 28).

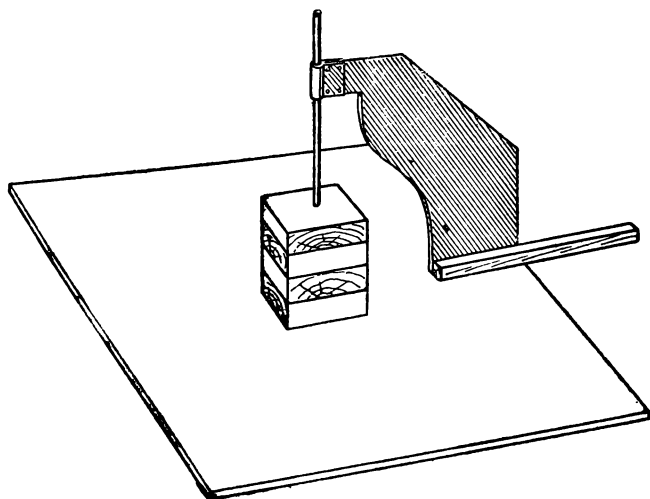


Рис. 27

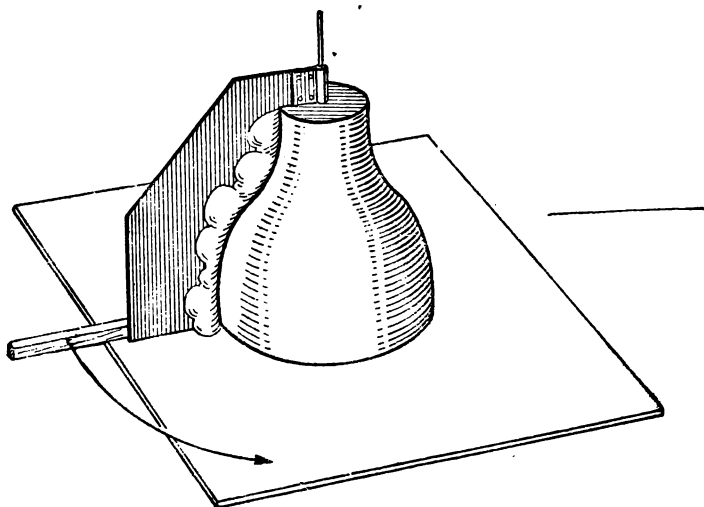


Рис. 28

Не торопитесь, выкатывая болванку, учтите, что за два-три оборота лекала вокруг оси болванку не выкатать. Правильная болванка получится только при терпеливом, постепенном и многократном вращении лекала по глине. Всё время следите за бруском, чтобы он постоянно плотно касался фанеры. Когда болванка получится совершенно гладкой и ровной, осторожно снимите лекало с оси и удалите ось из болванки, не повреждая глины. Очистите фанеру вокруг болванки от остатков глины. Заготовьте мучной клейстер и куски обоевой или оберточной бумаги. Ни в коем случае не ожидайте, пока глиняная болванка высохнет. Лепить папье-маше нужно по влажной болванке, сразу после выкатки, или закрывать болванку влажными тряпками до момента лепки папье-маше.

Смажьте глиняную болванку и фанеру вокруг неё олифой. Бумагу нарвите кусками, примерно 200×200 мм, и смажьте их клейстером. Смазывать бумагу клейстером надо с обеих сторон, тонким ровным слоем, без сгустков и пропусков, так, чтобы бумага не размокла. Отрывайте от кусков бумаги небольшие кусочки, примерно 60×60 мм, и прилепляйте их на болванку. Каждый последующий кусок бумаги должен наполовину прикрыть предыдущий. Это необходимо для сцепления, — иначе слепок из папье-маше не будет прочным. По окружности болванки отгибайте борт на фанеру. Ширина борта 30 мм (рис. 29).

Борт необходим для съёмки слепка с болванки, кроме того, при просушке он будет сохранять слепок от деформации и коробления. Прилепляя на болванку кусочки бумаги, находящиеся один на другой, вы получите тонкий, ровный слой бумаги, плотно облегающий

болванку и точно повторяющий её рельеф. На первый слой наносите второй таким же образом. Следите, чтобы между слоями бумаги не было пузырьков воздуха и чтобы все слои были плотно спрессованы и переклеены между собой. Лучше всего подобрать бумагу двух цветов, скажем, сероватую и желтоватую, и каждый слой лепить из бумаги одного цвета, чередуя их. Каждый слой лепите самостоятельно, не принимайтесь за следующий слой, не закончив предыдущего. Все бугорки от наслоения бумаги слегка

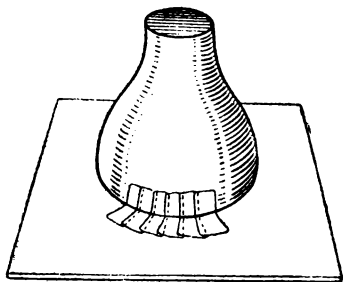


Рис. 29

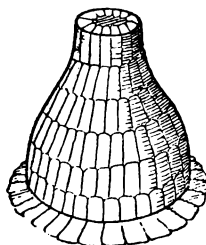


Рис. 30

вдавливайте в глину: поверхность слепка должна быть гладкой. Количество слоёв зависит от толщины бумаги, в среднем их будет 6—8. Толщина стенок плеча диффузора должна соответствовать толщине стенок цилиндра. Бумагу у кромки горловины загибайте на верхнюю площадку болванки (рис. 30).

Лепить папье-маше на болванку надо одновременно, ни в коем случае нельзя, например, вылепить три слоя и через день лепить ещё три. Вылепив последний слой, слепок можно слегка прогладить ножом или другим гладким предметом, слегка смоченным в клей-

стере. Готовый слепок поставьте для просушки возле тёплой печи или батареи парового отопления. Через сутки осторожно снимите слепок с болванки за отогнутый снизу борт. Снаружи слепок уже обсох, внутри он ещё влажный. Досушите слепок возле печки или батареи. Просушивать надо постепенно: при усиленной сушке слепок может покоробиться. После окончательной просушки обрежьте острым ножом отогнутый нижний борт и загнутую

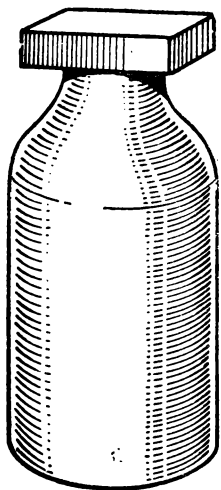


Рис. 31

кромку горловины. Обровняйте их рашпилем или напильником. Обровняйте также кромки цилиндра. Приклейте столярным клеем плечо диффузора к цилиндру. Сверху положите какую-нибудь тяжесть (рис. 31).

Когда клей просохнет, обточите напильником и прошкурьте заусенцы на шве. Снаружи и внутри проклейте шов полосками тонкой материи на клейстере. Тонкой бумагой, типа «афишной», на клейстере, склейте кромки диффузора, а также его внешнюю и внутреннюю поверхности вместе с полосками материи. Для спрямляющей сетки заготовьте фанеру не толще 2 мм или очень плотный картон. Подготовьте план сетки: начертите на бумаге окружность, равную внутренней окружности цилиндра диффузора. Разделите окружность на квадраты с длиной стороны 30 мм (рис. 32).

Делить начинайте от центра. Начертите на фанере или картоне планки для сетки. Ширина планок 50 мм,

длина планок должна соответствовать линиям А, Б, В, Г. Вырежьте или выпилите планки. Расчертите

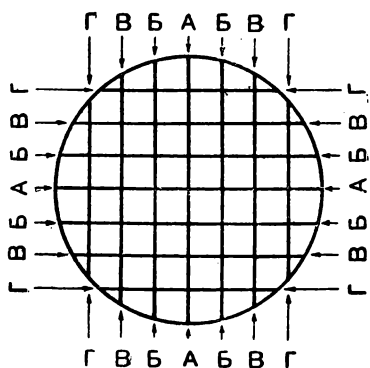


Рис. 32

планки на 30-миллиметровые ячейки. Чертить начинайте от центра планки (рис. 33).

Пропилите планки по расчерченным линиям до половины их ши-

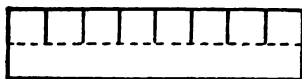


Рис. 33

рины. Ширина пропила должна равняться толщине материала, из которого вы их делаете. Лучше пропиливать все планки сразу. Соедините планки крест-на-

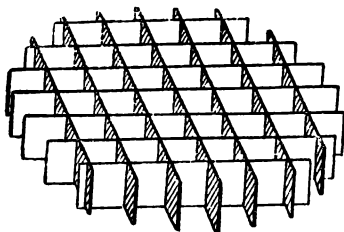


Рис. 34

крест, пропил в пропил, согласно начерченному вами плану (рис. 34).

Углы всех ячеек после проверки правильности квадратов проклейте полосками бумаги на клейстере,

чтобы пропиленные стенки не перемещались. После просушки подгоните сетку к цилиндру диффузора так, чтобы она свободно входила в цилиндр до самого округленного плеча. Соедините сетку с внутренней стенкой диффузора кусочками материи, смазанными клейстером. Половину кусочка материи приклейте к стенке диффузора, половину — к концам планок. Когда приклеенная сетка просохнет, окрасьте диффузор. Красьте снаружи и внутри эмалевой краской или алюминиевым порошком, разведенным на спиртовом лаке.

Дальнейшее оснащение настольной аэродинамической трубы состоит из подставки под диффузор, установки мотора с воздушным вентилятором и деталей крепления диффузора на подставке. Начнём описание с постройки подставки (рис. 35). Она состоит из

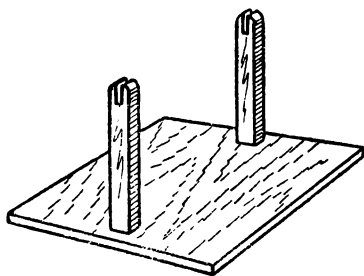


Рис. 35

опорной доски и двух вертикальных стоек (лучше всего изготовить эти детали из дуба, бука или берёзы, но применимо также и сухое сосновое дерево или многослойная фанера). Опорную доску выстрогайте толщиной 15—20 мм и опилите по размерам 250 × 330 мм.

Если найдёте многослойную фанеру указанной толщины, то строгать её не нужно, а только опилить под угольник её стороны согласно размерам, данным на рисунке 36.

С двух противоположных сторон высверлите, вы-

долбите и опилите напильником прямоугольное отверстие для стоек. Опорную доску тщательно отшкурьте стеклянной бумагой, добившись полной её гладкости. Две вертикальные стойки изготовьте также из сухого дерева или многослойной фанеры. Брусочки заготовки для этих стоек сделайте размером сечения 20×50 мм. Длина каждой заготовки должна быть 260 мм. Один из концов каждой заготовки округ-

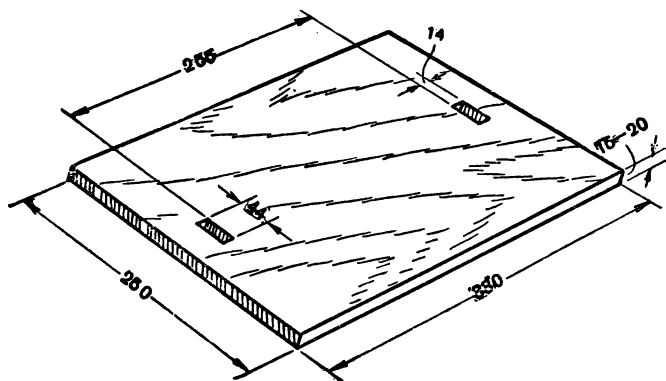


Рис. 36

лите по ширине. Здесь же, отступя от края 25 мм, просверлите отверстие диаметром 8 мм, а затем ножовкой или какой-либо другой пилой сделайте два пропила как раз до отверстия и по ширине диаметра его. С противоположного конца каждой стойки сделайте утоньшение с каждой стороны на глубину по 3 мм. Эта часть должна плотно входить в отверстие опорной доски. Расстояние a на рисунке 37 должно быть равно толщине опорной доски. Пунктирное обозначение на рисунке 37 есть изображение формы стойки.

После того как вы отшкурите стойки смажьте столярным или казеиновым клеем их утончённые места и вставьте (до упора) в соответствующие прорезы опорной доски. Если стойки войдут в прорезы недостаточно плотно, то с их нижней стороны надколите и вколотите маленькие деревянные клинышки, также

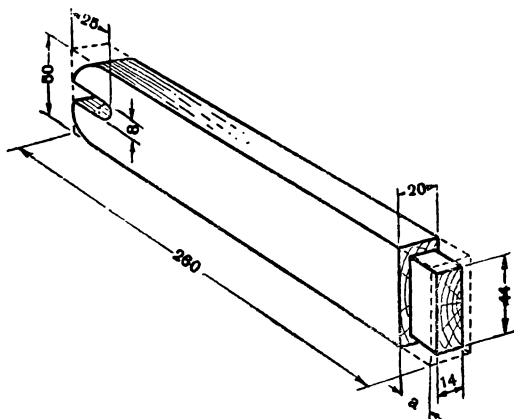


Рис. 37

с клеем. После высыхания клея ещё раз тщательно отшкурите всю подставку, окрасьте её коричневым или красным бейцем, а сверху покройте спиртовым или масляным лаком. Если же подставку вы изготовили из дуба или бука, то после отшкурковки покройте её только лаком.

Следующей операцией должно быть изготовление и монтаж деталей крепления диффузора на подставке. Каждый из двух комплектов этих деталей состоит из болта, трёх шайб, барашка и двух стяжных винтов с гайками. Все эти части можно подобрать или частично изготовить.

Головка болта может быть плоской и полукруглой, а также квадратной или шестигранной. Материал — латунь или сталь (рис. 38).

Материалом для шайбы может служить белая жечь или листовая латунь толщиной не более 1 мм (рис. 39).

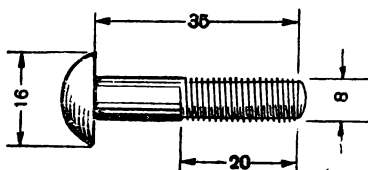


Рис. 38

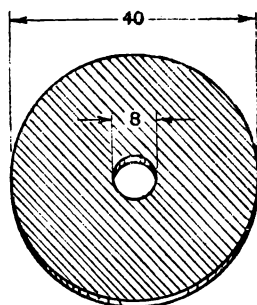


Рис. 39

Форма и размеры барашка могут быть произвольными, но барашек должен легко навинчиваться на 8-миллиметровый болт (рис. 40).

Стяжной винт с гайкой (рис. 41) подобрать готовыми. Головка этого винта должна быть конической (потайной). Гайка легко и плотно должна навинчиваться на резьбу винта.

Монтаж болтов крепления к диффузору произведите так: 1) Изогните плоскости двух шайб так, чтобы они плотно прилегали к внутренней части

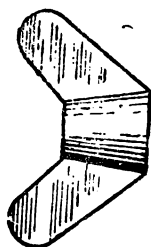


Рис. 40

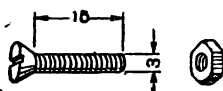


Рис. 41

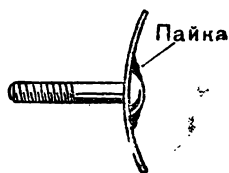


Рис. 42

диффузора. Плоскости двух других шайб изогните

так, чтобы они плотно прилегали к внешней части диффузора.

Теперь проденьте болт сквозь внутреннюю шайбу (рис. 42), а головку болта, в месте упора с шайбой, пропаяйте вокруг оловом. То же сделайте и со вторым болтом.

2) В корпусе диффузора, на расстоянии 140 мм от края широкой его части, просверлите два диаметрально противоположных отверстия так, чтобы в них свободно входили болты.

Просуньте болты с припаянными шайбами в эти отверстия через внутреннюю часть диффузора и поверните их так, чтобы шайбы легли плотно к стенкам.

С внешней стороны диффузора на болт наденьте две других изогнутых шайбы, чтобы они также плотно прилегали к стенке диффузора.

3) Достаньте или согните из жести трубку длиной 20 мм с внутренним диаметром 9—12 мм.

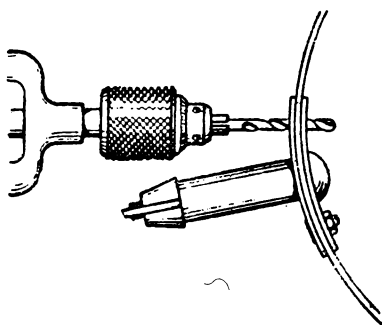


Рис. 43

Теперь, придерживая рукой шайбы в правильном их положении, наденьте трубку на внешнюю часть болта, а сверху прижмите плотно барашком.

4) Ручной дрелью, со сверлом 3 мм просверлите два отверстия через шайбы. В эти отверстия вставьте маленькие болтики и стяните гаечками (рис. 43).

Затем свинтите барашек, снимите трубку и то же самое сделайте с креплением противоположной стороны диффузора.

Подбор и установка электромотора с вентилятором.

Для того чтобы воздушный поток, выходящий из диффузора трубы, был достаточно интенсивен, нужен электромотор соответствующей мощности. Такой мотор должен иметь мощность не менее 50 ватт, а ещё лучше иметь 60—70-ваттный мотор. Можно рекомендовать для этой цели любой электромотор от старой узкоплёночной кинопередвижки или от швейной машины. В зависимости от величины и формы корпуса мотора соответственно выбирается и способ его крепления к диффузору. Но прежде чем устанавливать мотор на место, сделайте и подгоните к мотору четырёхлопастный вентилятор.

Возьмите кусок листового дюралюминия толщиной 1 мм или такой же толщины белую жель. Размеры заготовки должны быть 180 мм × 180 мм. Проведите две диагонали в этом квадрате как вспомогательные линии. От точки пересечения диагоналей на каждом из четырёх лучей наметьте точки, равные 25 мм. Эти точки будут служить для построения рисунка выкройки вентилятора (рис. 44).

Теперь в местах, обозначенных маленькими кружочками, просверлите или пробейте гвоздём 2—3-миллиметровое отверстие. Затем ножницами вырежьте лопасти по контуру. Для крепления вентилятора на оси мотора сделайте втулку, согласно размерам, указанным на рисунке 45.

Диаметр внутреннего отверстия этой втулки должен соответствовать оси приготовленного электромотора. В центре вырезанной выкройки вентилятора также просверлите отверстие по диаметру оси мотора. Совместите втулку и выкройку центрами. В отверстие проденьте и стяните вспомогательный болтик,

а затем втулку и лопасти просверлите в четырёх местах одновременно для мелких болтиков или заклёпок. Последними скрепите втулку с выкройкой, а центральный стяжной болт удалите. Придайте лопастям вы-

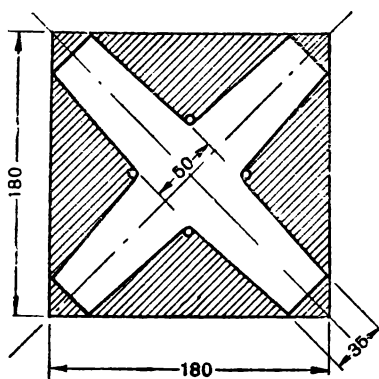


Рис. 44

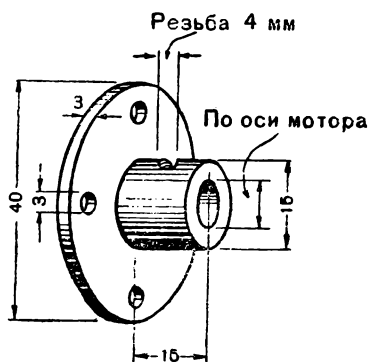


Рис. 45

кройки вентилятора вначале вид мелкого желобка, а затем края каждой лопасти немного разогните в разные стороны так, чтобы в сечении лопасть представляла вид, показанный на рисунке 46.



Рис. 46

Способ крепления мотора в диффузоре определится прежде всего формой корпуса самого мотора. Чаще всего корпус современного малогабаритного электромотора имеет цилиндрическую или бочкообразную форму. На рисунке 47 вы видите, как укреплен мотор такой формы. Подберите или вырубите полосы железа, имеющего толщину не менее двух миллиметров. Длину этих полосок рассчитайте

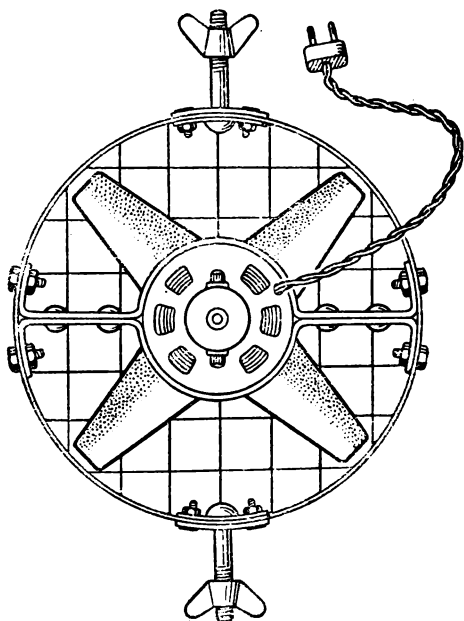


Рис. 47

сами, так как она будет зависеть от диаметра выбранного мотора. При выгибании полосок по нужной форме руководствуйтесь рисунком 48.

В случае наличия у вас мотора, корпус которого имеет форму параллелепипеда, крепление его во внутренней части диффузора изменится. Изменение это будет заключаться или в форме изгибания скобок или применения деревянной подставки (рис. 49). Во всех случаях крепления различных форм моторов следите за тем, чтобы ось мотора строго соответствовала центру диффузора, чтобы мотор не имел никакой качки в местах своего крепления на подставке или в хомутах.

Установите диффузор на деревянной подставке. После подгонки электромоторчика на своём месте

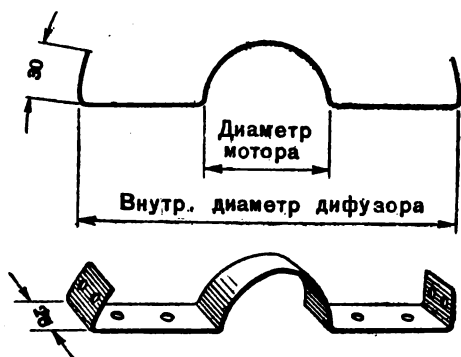


Рис. 48

выньте его и укрепите вентилятор на валу мотора. Теперь вместе с вентилятором вставьте вновь мотор и

диффузор и окончательно их закрепите. Прежде чем включать мотор в электросеть, проверьте, не задевают ли лопасти вентилятора за стенки диффузора. В случае задевания вентилятора кончики его следует немного подпилить напильником. Включите мотор. Из узкой горловины диффузора подует воздушный поток. Если

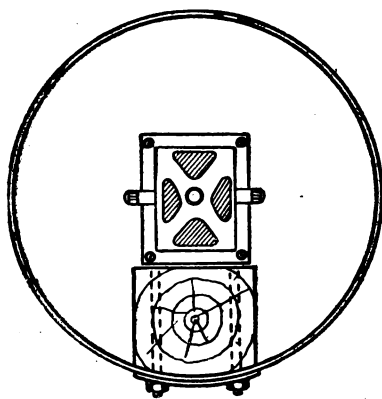


Рис. 49

окажется, что этот поток слишком слабый, то увеличьте углы изгиба краёв лопастей вентилятора. Это мож-

но сделать плоскогубцами и не вынимая моторов с места. Величину минимально потребной воздушной скорости потока можете определить так.

Вырежьте из 4-миллиметровой сухой фанеры квадратную пластинку размером 100 мм × 100 мм. В края этой пластинки вбейте два тонких гвоздика и с помощью проволочек шарнирно укрепите её к рейке (рис. 50).

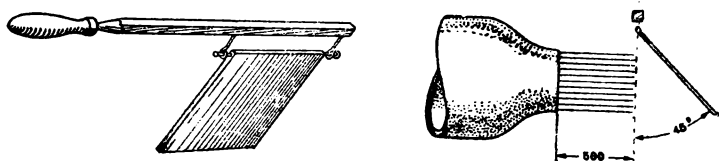


Рис. 50

Установите качающуюся фанерную пластинку перпендикулярно воздушному потоку на расстоянии 500 мм от края узкой горловины диффузора. Угол отклонения этой пластинки от вертикального положения в сторону движения потока должен быть не менее 45°. Только при величине воздушного потока достаточной силы можно провести убедительно опыты, указанные выше.

2. Изготовление геометрических тел различной обтекаемости и набора профилированных пластинок

Для проведения опытов сравнения обтекаемости тел различной геометрической формы рекомендуется изготовить следующий набор (рис. 51): плоская круглая пластинка, шар, цилиндр, конус и тело каплеобразной формы. Все эти тела в своём миделевом

сечении (максимальная площадь плоскости поперечного сечения) должны иметь форму круга одного и того же диаметра.

1) Круглую пластинку изготовьте из 10—12-миллиметровой фанеры, диаметр пластинки — 50 мм.

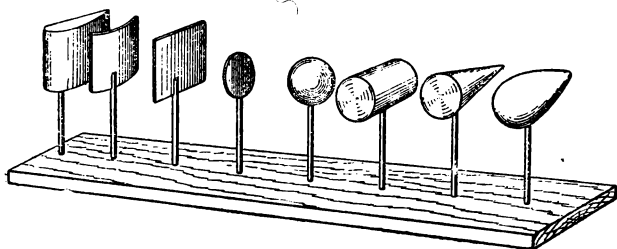


Рис. 51

2) Шар. Лучше всего его выточить на токарном станке, но можно его изготовить и вручную из какого-либо лёгкого и мягкого дерева, например липы, осины, ольхи. Диаметр шара также точно подгоните под 50 мм.

3) Цилиндр. Цилиндр изготовьте на токарном станке или вручную. Диаметр основания цилиндра 50 мм, высота 120 мм.

4) Конус. Диаметр основания 50 мм, высота 120 мм.

5) Тело каплеобразной формы. Выточите на станке или вручную изготовьте тело каплеобразной формы. Диаметр его миделевого сечения (окружность) установите также в 50 мм, а высоту в 120 мм.

Все указанные предметы тщательно отшкурьте мелкой стеклянной бумагой, покрасьте бейцем, а затем пролакируйте спиртовым или масляным лаком. До-

бейтесь в обработке поверхности тел наибольшей гладкости.

Для укрепления тел на весах изготовьте к ним держалки. Это круглые, гладкие палочки длиной 180 мм и диаметром 8 мм. Можете для этой цели взять круглые карандаши, которые всегда бывают строго прямыми, круглыми и гладко обработанными. В боковой поверхности каждого тела просверлите отверстие на глубину 20—30 мм. Диаметр этого отверстия должен быть равен диаметру держалки. Для демонстрации опытов возникновения подъёмной силы изготовьте следующий набор профилированных пластинок:

1) Плоская пластинка.

Из 3—4-миллиметровой фанеры вырежьте квадратную дощечку размером 100 мм × 100 мм. Тщательно отшкурьте её поверхность и рёбра, окрасьте и пролакируйте их.

В круглом карандаше или палочке пропилите щель на глубину 30 мм. Теперь наметьте место, где пластинка будет вставляться в держалку (рис. 52).

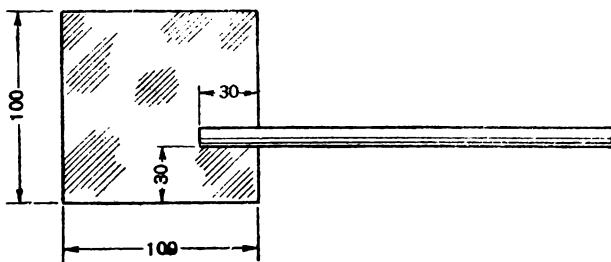


Рис. 52

В этом месте выберите ножом с обеих сторон пластинки по одному слою фанеры, смажьте клеем и

вставьте её в прорезь держалки. Пока клей не засох, склеиваемые части сожмите грузом или тисками.

2) Изогнутая пластинка.

Из такой же 3—4-миллиметровой фанеры вырежьте заготовку размером $100 \text{ мм} \times 115 \text{ мм}$. По стороне 115 мм изогните её, как показано на рисунке 53.

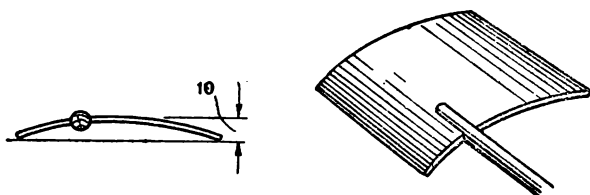


Рис. 53

Способ и место крепления к согнутой пластинке круглой держалки такие же, как и в предыдущем случае.

Наконец, для наблюдения опыта возникновения подъёмной силы в профилированном крыле изготовьте элемент такого крыла. Из липового, берёзового или ольхового дерева выстрогайте квадратную дощечку размером $100 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$. Толщину этой дощечки сделайте $10\text{—}12 \text{ мм}$. Согласно рисунку 54 обработайте

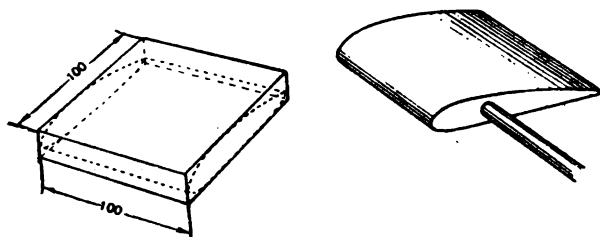


Рис. 54

эту дощечку, придав ей профиль современного крыла самолёта.

В наибольшей толщине торцевой части профиля, на глубину 20 мм высверлите 8-миллиметровое отверстие. В это отверстие плотно вставьте круглую палочку или карандаш, что будет служить держалкой.

3. Установка обдуваемых тел на весах

В тех опытах с аэродинамической трубой, где потребуется определение или сравнение сил сопротивления, а также подъёмной силы, можно применить для этого обыкновенные одно-двухкилограммовые чашечные весы. Здесь необходимо только будет изготовить специальную подставку, где можно будет укреплять во время опыта то или иное тело для продувки. Эта подставка устанавливается вместо одной чашечки на коромысло весов.

Из многослойной фанеры толщиной 10—12 мм или такой же толщины сухой и гладкой доски вырежьте круг диаметром 140 мм. Гладко его обработайте стеклянной бумагой. Из куска сухого берёзового или букового дерева изготовьте брусочек согласно размерам, указанным на рисунке 55.

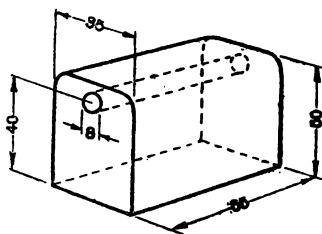


Рис. 55

Просверлите в этом брусочке сквозное отверстие диаметром, равным диаметру круглых держалок. Нижнюю сторону брусочка смажьте клеем и приклейте к круглому диску, центр которого совместите с точкой пересечения диагоналей прямоугольника основания брусочка.

Тщательно прошкурьте склеенную деталь, покрасьте её и пролакируйте. Общий вид собранной подставки дан на рисунке 56.

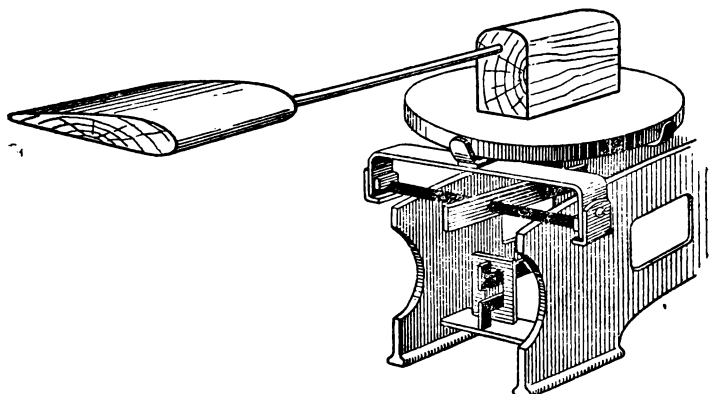


Рис. 56

Один из способов закрепления этой специальной подставки на коромысле весов состоит в следующем.

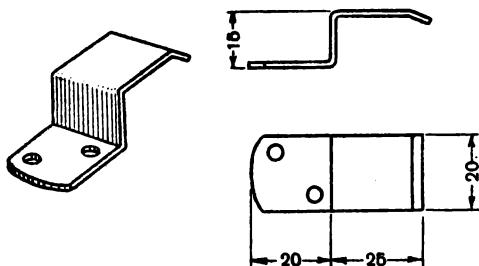


Рис. 57

На нижнем круглом основании подставки мелкими шурупчиками привинтите две скобочки, которые изготовьте из листовой латуни или дюралюминия. Форма и размеры этих скобочек даны на рисунке 57.

Расположение этих скобок на круглом диске должно быть таким, чтобы они легко и плотно зацеплялись за крестовину коромысла весов, что видно на рисунке 58.

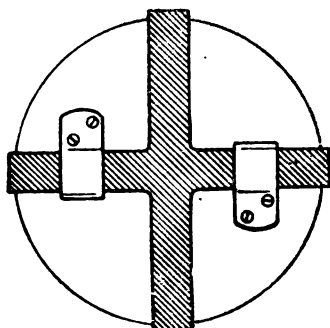


Рис. 58

4. Прибор «сближающиеся пластинки»

Для изготовления прибора необходимо иметь следующее:

- 1) листовой алюминий, дюралюминий или жсть толщиной 0,5—1,0 мм;
- 2) железную или стальную проволоку диаметром 3—4 мм;
- 3) деревянную ручку или кусок дерева для неё.

Из 3—4-миллиметровой проволоки, кусок которой имеет длину 310 мм, согните рамку, как показано на рисунке 59. Свободные концы вбейте в деревянную

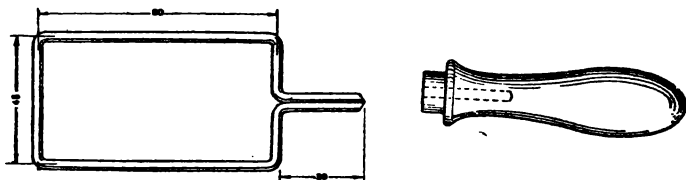


Рис. 59

ручку, заранее приготовленную. Теперь из листового материала (жсть, алюминий, дюралюминий) вырежьте ножницами два прямоугольника размером 70 × 120 мм (рис. 60).

Тот край пластинки, который имеет длину 70 мм, приложите к длинной стороне проволочной рамки (80 мм) и обогните его трубочкой вокруг проволоки. Вторую пластинку обогните вокруг противоположной стороны рамки. Обгибание пластинок вокруг проволо-

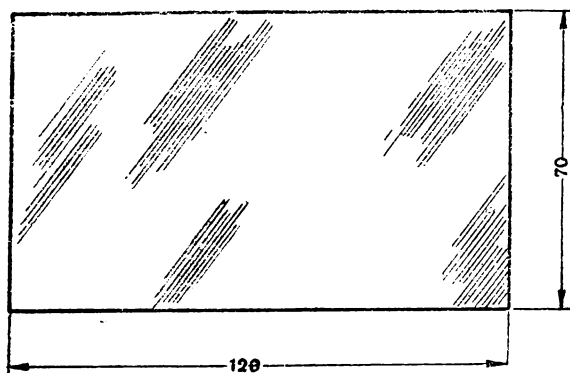


Рис. 60

ки делайте так, чтобы они свободно вращались и ни в каком положении не затирали (рис. 61).

Свободно висящие две параллельные пластинки должны быть выгнуты слегка внутрь навстречу друг другу горбиками. Сделайте эти изгибы пластинок, как показано на рисунке 61.

После этого прибор готов к демонстрации.

5. Прибор «подпрыгивающая пластинка»

Этот прибор проще всего изготовить из подручных материалов, т. е. фанеры, бумаги и проволоки. На рисунке 62 видна конструкция этого прибора, состоящего из бумажной или камышовой трубки, непод-

вижного диска, подвижного диска и проволочных ограничителей с бабышками.

Изготовление прибора начинайте с трубочки, которую проще всего сделать из листа писчей или афишной бумаги.

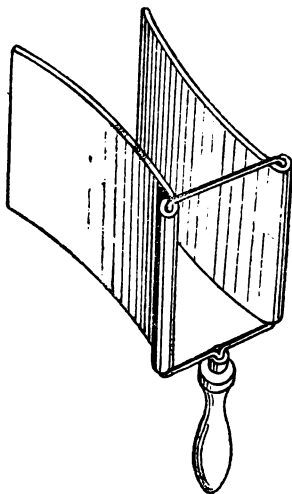


Рис. 61

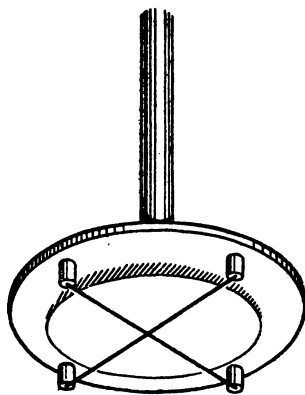


Рис. 62

Лист бумаги размером $30\text{ см} \times 30\text{ см}$ смажьте негусто с обеих сторон мучным клеем. Теперь возьмите гладкий и прямой металлический прут или стеклянную трубочку диаметром $7\text{—}8\text{ мм}$. На эту трубочку или пруток плотно накатайте проклеенную бумагу. Сразу же после плотной накатки получившуюся бумажную трубочку стяните с заготовки, не давая ей там высохнуть. Просушку трубочки произведите в тёплом помещении, после чего её покрасьте краской или лаком.

Неподвижный диск изготовьте из 3—4-миллиметровой фанеры. Делается он круглым, диаметром в 100 мм. В центре неподвижного диска просверлите отверстие, величина которого будет равна диаметру трубочки. Прежде чем клеивать трубку в диск, его необходимо тщательно отшкурить стеклянной или мелкой наждачной бумагой. После клейки трубочки в диск её выступающий кончик подрежьте вровень с диском.

Подвижный диск проще всего вырезать из ровной плотной бумаги (например, ватман). Он также круглый, диаметр его 75 мм.

Этот диск также можно изготовить из тонкой алюминиевой или латунной фольги.

Теперь от круглой палочки диаметром 6—7 мм отрежьте 4 цилиндрика (бабышки) высотой 10 мм. Эти цилиндрики приклейте основаниями к краям неподвижного диска.

Из миллиметровой железной или стальной проволоки согните скобочки. Отогнутые кончики скобок заострите напильником.

Положите подвижный лёгкий диск на диск неподвижный, а остриё проволочных скобок аккуратно вложите в бабышки. Заключённый между стенкой неподвижного диска с одной стороны и проволочными ограничителями с другой стороны лёгкий подвижный диск должен свободно перемещаться. Ниже помещённый сборочный рисунок 63 поможет вам яснее понять весь процесс изготовления прибора.

6. Прибор, демонстрирующий «парадокс сближающихся дисков»

На один конец вязальной или велосипедной спицы, имеющей длину 150 мм, неподвижно закрепите круг-

лый картонный или фанерный диск диаметром 90 мм. Спица не должна иметь ни малейших следов ржавчины или других шероховатостей и быть по возможности совсем прямой.

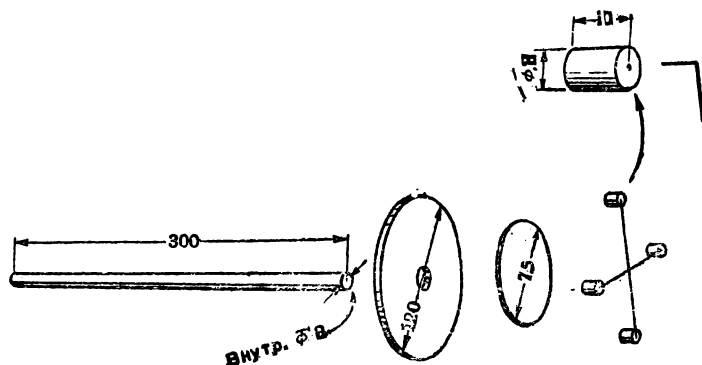


Рис. 63

Второй диск также круглый, диаметром 70 мм, вырежьте из плотной и лёгкой бумаги. В центре его проколите отверстие по диаметру спицы. По спице этот лёгкий диск должен свободно передвигаться без особого трения. Противоположный от диска конец спицы плотно укрепите в подставке. Подставка состоит из круглой деревянной палочки, поставленной на опорной дощечке. Диаметр палочки для подставки должен быть не менее 12 мм. Общая высота подставки должна составлять 260 мм (рис. 64).

7. Изготовление прибора «шарик в потоке»

Для изготовления этого прибора необходимо иметь:

- 1) Металлическую, камышовую или картонную трубку длиной 300—350 мм с внутренним диаметром 10—20 мм.

2) Кусок пластмассы или плотного дерева.

3) Бутылочную пробку или мякиш из бузины.

Приготовьте трубку означенных выше размеров. Если она грязная или почерневшая, очистите наждачной бумагой.

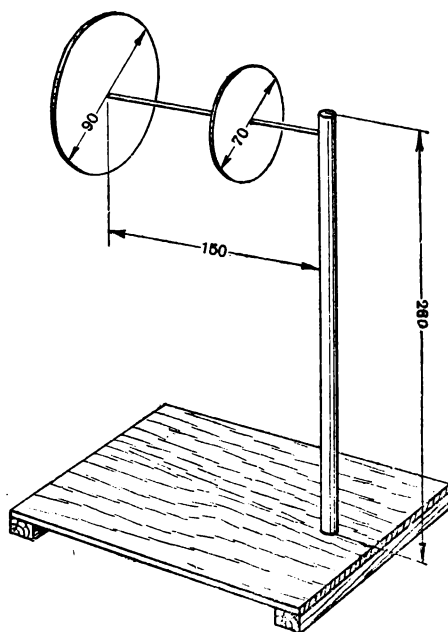


Рис. 64

Теперь из пластмассы (например, плексигласе) или плотного дерева изготовьте кубик так, чтобы его сторона была длиной в два раза больше внешнего диаметра трубки. На одной из сторон этого кубика наметьте точку пересечения диагоналей и по этой точке просверлите насквозь отверстие, равное диаметру

трубки. Кубик должен плотно насаживаться на конец трубки (рис. 65).

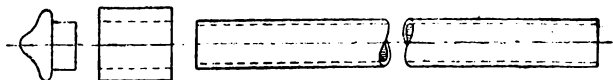


Рис. 65

После того как кубик плотно насадили на трубку, изготовьте заглушку. Эта заглушка должна также плотно закрывать внутренний канал трубки.

Теперь, когда прибор собран, в его утолщённой части, т. е. в кубике, просверлите отверстие 2,5—3 мм так, чтобы отверстие прошло через одну стенку трубки и соединилось с её каналом (рис. 66).

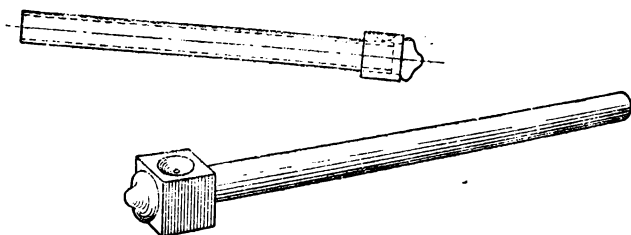


Рис. 66

Начало отверстия на поверхности кубика раззенкуйте 12—15-миллиметровым сверлом на глубину 4—5 мм так, чтобы получилась полукруглая ямочка. На рисунке 66 дан общий вид законченного прибора. Для демонстрации опыта нужен ещё легкий шарик диаметром в 10 мм, который изготовьте из пробки или мякиша бузины.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Часть I	
Опыты по аэродинамике	
1. Введение	4
2. О воздушной среде	5
3. Аэродинамическое сопротивление	6
4. Спектр обтекания	11
5. Статическое давление воздуха, закон Бернулли	15
6. Несимметричное обтекание. Возникновение подъемной силы крыла	20
Заключение	26
Часть II	
Изготовление аэродинамической трубы и приборов для опытов с ней	
1. Диффузор настольной аэродинамической трубы	27
2. Изготовление геометрических тел различной обтекаемости и набора профилированных пластинок	45
3. Установка обдуваемых тел на весах	49
4. Прибор «сближающиеся пластинки»	51
5. Прибор «подпрыгивающая пластинка»	52
6. Прибор, демонстрирующий «парадокс сближающихся дисков»	54
7. Изготовление прибора «шарик в потоке»	55

Редактор *Ю. В. Басов.*
Технический редактор *Е. А. Веденев.*

* *

А 01041. Подп. к печати 24/1 1953 г.
Бумага $84 \times 108^{1/32} = 0,937$ бумажных л.
3,07 печатных листов. Уч.-изд. 2,09 л.
Цена 55 к. Тираж 20 000 экз. Заказ 1003.

* *

1-я типография Профиздата.
Москва, Крутицкий вал, 18.

Цена 55 коп.