

# Определение гидродинамического сопротивления

*С. БЕТЯЕВ*

**КАК СЧИТАЛ АНРИ ПУАНКАРЕ,** «опыт – единственный источник истины: только опыт может научить нас чему-либо новому, только он может вооружить нас достоверностью». И с этим нельзя не согласиться – действительно в основе любой точной науки краеугольным камнем лежит опыт.

**Опыты большие и малые.** С точки зрения материальных затрат на экспериментальные исследования, условно различают «малую науку» и «большую науку». Малой наукой занимаются малые коллективы или даже одиночки за малые деньги. Большая наука способствует осуществлению грандиозных проектов – строительству гигантских ускорителей заряженных частиц, космических кораблей, ядерных установок.

Без большой науки, в частности, невозможно создание самолетов, морских судов и ракет. Их облик формируется в результате промышленного эксперимента, который проводится в аэрогидродинамических установках, оснащенных современной аппаратурой. В соответствии с принципом относительности, используются два эквивалентных способа создания потока: движение модели в покоящейся среде либо

обтекание покоящейся модели движущейся средой. Первый способ реализуется в баллистических установках, гидроканалах и опытовых бассейнах, второй – в гидродинамических и аэродинамических трубах.

В гидроканале, изображенном на рисунке 1, имеется специальная тележка, движущаяся по установленным над каналом рельсам и буксирующая модель гидросамолета; производится кинофотосъемка картины обтекания и измерение действующих на модель сил и моментов. С помощью аэродинамических труб, типа представленной на рисунке 2, удалось в течение одного века пройти трудный путь от первых примитивных самолетов до современных авиалайнеров.

Однако многие физические закономерности можно установить и в маломасштабных опытах. К таким научным (в отличие от технических) опытам относятся так называемые «опыты в ванной». Большинство из них можно провести дома или в школьном физическом кабинете, как говорил американский физик-экспериментатор Вуд – с помощью «...палки, веревки, сургуча и слюды». А о Фарадее, например, Гельмгольц сказал так: «Старые куски

провода, дерева и железа кажутся ему достаточными для того, чтобы идти к величайшим открытиям».

**Великие «шаробросатели».** Силу сопротивления, которую испытывает тело, движущееся относительно среды, проще всего определить, если следить за падением тел в воздухе.

Проведением подобных опытов одним из первых занялся Леонардо да Винчи (1452–1519). Впрочем, он экспериментировал не только с падающими телами, но и с телами, движущимися в воде, и даже с плоскими поверхностями, движущимися в воздухе под углом атаки. Ему удалось найти оптимальную форму судна наименьшего сопротивления.

Дело Леонардо продолжил Галилео Галилей (1564–1642). Бросая с наклонной Пизанской башни тяжелые и легкие шары, он установил независимость скорости падения тяжелых тел от их веса и сформулировал один из величайших физических принципов – принцип инерции: если на тело не действуют силы, то оно движется равномерно и прямолинейно. Немаловажное значение Галилей придавал логическому объяснению результатов эксперимента, пониманию физической сущности явления. «Природа дала нам глаза, чтобы мы узрели ее творения, – говорил он своим ученикам. – Но она наделила нас также мозгом, способным понять эти творения.»

Еще одним великим «шаробросателем» был Исаак Ньютон (1643–1727), основатель физики и (совместно с Г.Лейбницем) высшей математики. Он бросал шары в Лондонском соборе святого Павла. Вопрос о сопротивлении тел был для Ньютона далеко не праздным. Он хотел доказать, что (в отличие от утверждений аристотелианцев) космическое пространство не заполнено материей. В противном случае космическая материя оказывала бы сопротивление движению небесных тел, и вся стройная механическая система мира, созданная трудами Ньютона, рассыпалась бы, как картонный домик.

Сопротивление движущегося в жидкости тела, по Ньютону, состоит из трех частей: первой – постоянной, второй – пропорциональной скорости, третьей – пропорциональной квадрату скорости. Постоянная часть сопротивления пренебрежимо мала; сопротивление, пропорциональное скорости, обусловлено трением; сопротивление, пропорциональное квадрату скорости, обусловлено действием сил инерции.

Сегодня мы знаем, что в общем слу-

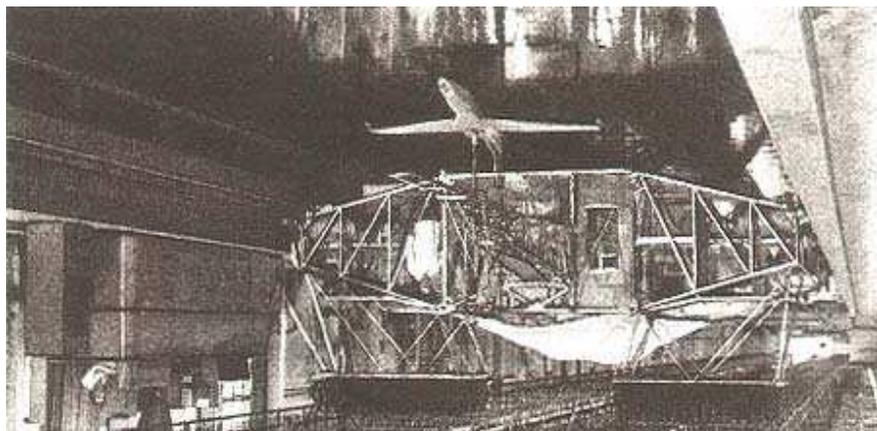


Рис. 1. Гидроканал ЦАГИ

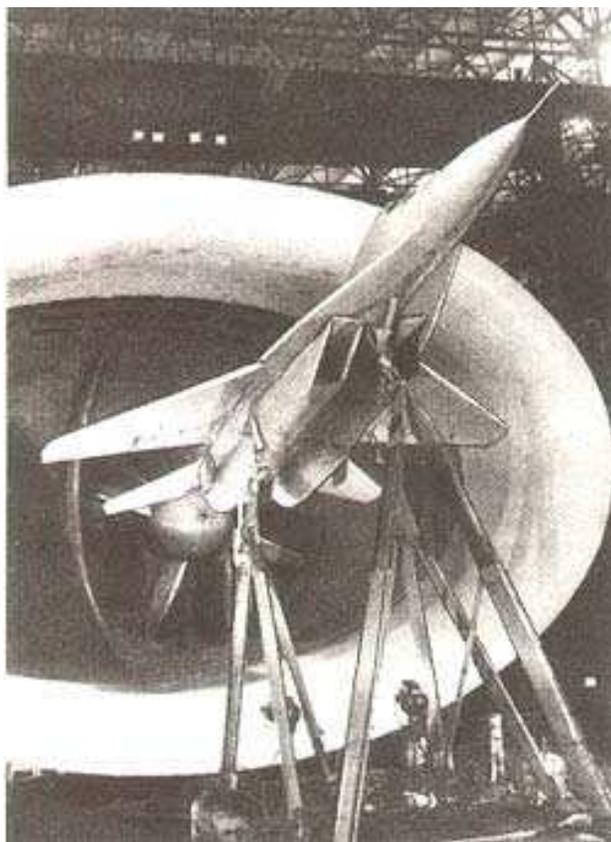


Рис.2. Легкий маневренный истребитель МиГ-29 в аэродинамической трубе

чае расчитать сопротивление на отдельные части не удастся – в слишком плотный клубок сплетены различные эффекты, сопутствующие обтеканию тел. Тем не менее, именно Ньютон впервые установил, что сила сопротивления движущегося со скоростью  $v$  шара прямо пропорциональна его площади поперечного сечения  $S$  и плотности жидкости  $\rho$ :

$$F = C_x \frac{\rho v^2}{2} S,$$

где  $C_x$  – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом сопротивления.

А что будет, если несколько изменить условия обтекания? Например, можно телу придать вращение вокруг вертикальной оси. Какой шар быстрее достигнет земной поверхности: вращающийся или не вращающийся? Оказывается, вращающийся – для убедительности можно одновременно сбросить с высоты многоэтажного дома вращающийся и не вращающийся волчки.

Закон о том, что сопротивление тела тем меньше, чем больше скорость его вращения, – качественный. Количественные измерения в таком эксперименте затруднены. И вот почему. В образующемся за телом следе реализуется потеря импульса, порожденная действием силы сопротивления. Течение сохраняет «память» о прошлом – о том, как формировался след раньше.

Если скорость падающего тела на некотором отрезке пути не изменяется, то сила сопротивления тоже оказывается постоянной. А скорость постоянна, если сумма действующих на тело сил равна нулю; значит, сила сопротивления равна силе тяжести. Для одного и того же тела такое равенство достигается в воздухе при гораздо больших высотах падения, чем в воде. Видимо, Ньютон имел в виду эти соображения, когда приступил к опытам с бросанием шаров в воду (которые он проводил в наполненной водой деревянной бочке высотой 4,5 м).

**Воздуходувка Циолковского.** В XIX веке осуществилась

идея о том, что количественные измерения сил сопротивления необходимо проводить в аэродинамических трубах.

Первую в России аэродинамическую трубу непрерывного действия с открытой рабочей частью построил в 1897 году К.Э.Циолковский. Для создания воздуходувки (рис.3) – так он ее называл – Циолковский использовал веялку, лопасти которой крутились вручную. К сожалению, в опытах Циолковского скорости оказались недостаточно большими, чтобы результаты можно было применять для нужд авиации. Однако такая воздуходувка весьма пригодна для малых опытов по исследованию силы сопротивления.

Аэродинамическую трубу можно изготовить и с помощью обычного пылесоса, подключив насадку к его выхлопному отверстию, – в струю воздуха такой «трубы» можно помещать испытываемые модели.

Интересно, что законы сопротивления можно учитывать по-разному. Так, самолет должен иметь малую силу сопротивления, но большую подъемную силу. Парашют, напротив, должен иметь большую силу сопротивления, тормозящую его движение.

Любопытны опыты с телами простейшей геометрии. Например, обдувая струей воздуха (или воды) двугранники с различными углами раствора  $\beta$ , но с одинаковой шириной грани  $l$ , можно обнаружить, что наибольший коэффициент сопротивления имеет не плоская пластина ( $\beta = 0$ ), а двугранник с некоторым отрицательным углом раствора  $\beta$  (рис.4). В связи с этим можно задуматься о придании удлиненным крыльям самолетов обратной V-образности, как показано на рисунке 5 (тогда в плоскости, поперечной к набегающему потоку, течение будет напоминать обтекание того же двугранника с углом  $\beta < 0$ , а подъемная сила крыла – силу сопротивления двугранника). Но это относится уже к большой науке...

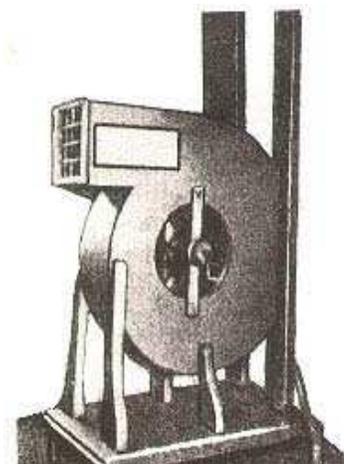


Рис.3. Воздуходувка Циолковского

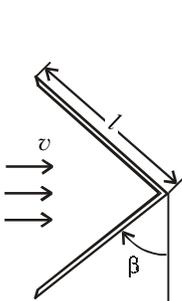


Рис.4. Обтекание воздухом двугранника

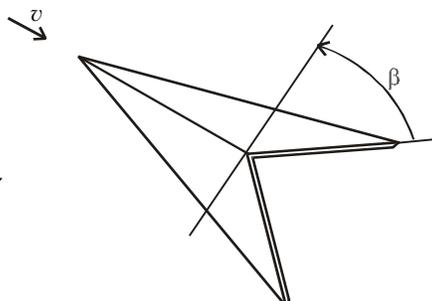


Рис.5. Крыло самолета с обратной V-образностью