

ГЛАВА III

ОБЩИЕ ЗАКОНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ

§ 1. Применение моделей в аэродинамике

Основной задачей аэродинамики является, как известно, определение силового взаимодействия между жидкой или газообразной средой и движущимся в этой среде телом. В большинстве практически важных случаев эту задачу приходится решать опытным путем, так как теория в аэродинамике еще не настолько развита, чтобы давать уверенные и достаточно точные для технических целей ответы на многочисленные конкретные вопросы проектирования и расчета летательных аппаратов: Теория может лишь устанавливать общие законы движения и сопротивления среды и решать задачу о силовом взаимодействии среды и движущегося тела в некоторых простейших случаях. Так, например, можно теоретически рассчитать в ряде случаев распределение давлений по профилю цилиндрического крыла или по поверхности тела вращения. Но действительный самолет имеет формы, значительно более сложные, чем те, которые доступны для теоретического изучения: фюзеляж обычно не является телом вращения; он имеет, кроме того, ряд надстроек; он сопрягается с крыльями и оперением; крыло обычно бывает не цилиндрическим, а составленным из разных профилей, и на нем также имеются надстройки, крепятся пилоны двигателей или устанавливаются воздухозаборники и т. д. Все эти обстоятельства настолько усложняют силовое взаимодействие летательного аппарата с окружающей средой, что ограничиться средствами теоретического анализа при проектировании и расчете не представляется возможным. Поэтому основное значение приобретает здесь эксперимент. Однако, для того чтобы эксперимент успешно решал поставленную перед ним задачу, его постановка и обработка данных должны базироваться на знании общих законов сопротивления среды, выяснение которых является делом теории.

Причина зависимости эксперимента от теории состоит в том, что эксперимент в аэродинамике выполняется обычно не с натуральным объектом и не в натуральных условиях, а на модели этого объекта, в условиях, не совпадающих с натуральными. Эксперимент при этом должен не просто воспроизводить изучаемое явление, а моделировать это явление так, чтобы затем можно было от данных эксперимента с моделью перейти к натуре.

Натуральные объекты, с которыми имеет дело аэродинамика, — самолеты, ракеты, компрессоры и газовые турбины — точно так же, как натуральные объекты, с которыми имеет дело гидродинамика, — плотины, гидравлические турбины, насосы, корабли — слишком сложны, велики по размерам и дорогостоящи для того, чтобы их можно было всякий раз испытывать только в натуральных условиях. Кроме того, необходимость в испытании различных вариантов каждого из перечисленных выше натуральных объектов возникает тогда, когда самого объекта еще не существует, а именно в стадии его проектирования и расчета. Эти обстоятельства и привели к широкому использованию в аэродинамике и гидравлике моделей натуральных объектов и к испытанию их в лабораторных условиях, часто весьма далеких от натуральных.

Большое практическое значение приобрела поэтому *теория моделирования*, т. е. раздел аэродинамики, разрабатывающий способы определения аэродинамических величин для натуральных объектов путем испытания их моделей. Разумеется, что модель всегда должна быть геометрически подобной натуральному объекту, но так как она обычно имеет иные размеры, чем натуральный объект, и может испытываться при иных скоростях и даже в иной среде, то силовое взаимодействие модели со средой также будет иным, нежели у натурального объекта. Поэтому возникает стремление охарактеризовать силовое взаимодействие тела и среды безразмерными величинами, т. е. такими, которые не зависели бы от абсолютных размеров тела, скорости его движения, плотности среды и других размерных величин. Такие безразмерные величины, которые мы будем называть в дальнейшем *аэродинамическими* или *гидродинамическими коэффициентами*, широко применяются в аэродинамике и гидродинамике. Мы уже встречались с примерами таких коэффициентов в предыдущей главе; это коэффициент трения $\bar{\tau}$, коэффициент сопротивления трубопровода λ и коэффициент местного гидравлического сопротивления ζ .

Для проектирования и расчета натурального объекта весьма важно, чтобы аэродинамические коэффициенты, определенные путем испытания модели, были такими же, как у натурального объекта; только при таком условии можно применить аэродинамические коэффициенты, полученные на модели, к расчету натурального объекта, и следовательно, только таким условием определяется ценность эксперимента с моделью. Однако, для того чтобы аэродинамические коэффициенты были одинаковыми, недостаточно, как увидим в дальнейшем, одного только геометрического подобия модели и природы. Необходимо соблюдение ряда дополнительных условий, которые являются *условиями моделирования явлений*, возникающих при движении натурального объекта. Выяснение этих условий, которыми необходимо руководствоваться для правильной постановки эксперимента, составляет предмет специального раздела гидроаэродинамики — *теории*

механического и теплового подобия. Изложению теории подобия и практических выводов из нее в значительной своей части посвящена настоящая глава. Кроме того, в этой главе будут даны основные формулы для аэродинамических коэффициентов и типичные зависимости аэродинамических коэффициентов от угла атаки и тех параметров, которые вводятся теорией подобия.

§ 2. Понятие о механическом подобии потоков жидкости

Изучая движение жидкой среды, необходимо учитывать силы тяжести, инерции, давления и трения; все это — силы, различные по своему происхождению и природе, и каждая из них изменяется при изменении скоростей, размеров потока и других обстоятельств движения по своим особым законам. Однако во многих вопросах, и в частности в вопросах сопротивления жидкой среды, приходится рассматривать *совместное действие этих сил* и исследовать величину *отношения одной из них к другой*. Наиболее простым и вместе с тем весьма важным примером этого является сопротивление трубы при движении в ней жидкости. Сопротивление цилиндрической трубы характеризуется, как известно из § 15 гл. II, коэффициентом сопротивления λ , который определяется формулой

$$\lambda = 4\bar{\tau}_0 = 4 \frac{\tau_0}{\rho v_{ср}^2}.$$

Числитель здесь выражает силу трения, приходящуюся на единицу поверхности стенки, а знаменатель — динамическое давление, которое, как известно из предыдущего, представляет собой силу избыточного давления на единицу поверхности в точке торможения потока несжимаемой жидкости.

Для того чтобы выяснить, от каких параметров зависит это отношение, необходимо обратиться к весьма важному для аэродинамики понятию о *механическом подобии*. Это понятие аналогично понятию о геометрическом подобии.

Как известно, *геометрически подобными называются тела, у которых сходственные размеры пропорциональны*. Иными словами, все размеры одного тела получают при этом из сходственных размеров другого умножением на постоянный множитель.

Если два потока жидкости ограничены геометрически подобными поверхностями (безразлично, будут ли это поверхности твердых тел или свободные поверхности) и скорости в сходственных точках пропорциональны, то такие потоки называются *кинематически подобными*.

Взяв какие-либо две точки в потоке I и обозначив скорости в них через v_1 и v_2 и беря сходственные точки в потоке II, мы сможем