

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

аналитически записать *условие кинематического подобия* двух потоков в следующем виде:

$$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)_I = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)_{II}$$

(индексы I и II указывают, к какому потоку относится соответствующая величина).

Если два потока жидкости ограничены геометрически подобными поверхностями и какие-либо из сил, действующих на сходственные элементы, пропорциональны в обоих потоках, то такие потоки называются *динамически подобными* для этих сил. Обозначив, например, силу давления, действующую на какой-либо элементарный объем, через P и силу трения, действующую на тот же объем, через T , сможем записать *условие динамического подобия* для этих сил в следующем виде:

$$\left(\frac{P}{T}\right)_I = \left(\frac{P}{T}\right)_{II},$$

(причем в обеих частях равенства величины относятся к сходственным элементам). Иными словами, в случае динамического подобия потоков для сил давления и трения величины сил давления получаются из величин сил трения умножением на постоянный для всего потока множитель.

Так как в жидкости действуют разные силы (давления, трения, тяжести, инерции, упругости и т. д.), то и условий подобия может быть не одно, а несколько: для всяких двух разнородных сил может быть записано свое условие подобия. Каждое такое условие подобия называется условием *частичного подобия*. Если все частичные условия подобия выполняются, то говорят, что имеет место *полное динамическое подобие* потоков.

Возвращаясь к вопросу о коэффициенте сопротивления трубы, мы видим, что этот коэффициент будет одинаков для геометрически подобных труб или неодинаков в зависимости от того, будут ли потоки в этих трубах динамически подобными для сил трения и сил избыточного давления или не будут. Вопрос о постоянстве коэффициента сопротивления труб есть, таким образом, вопрос о динамическом подобии потоков. Обратимся теперь к выводу условий, при которых потоки будут динамически подобными.

§ 3. Условия динамического подобия потоков

Предположим, что два потока I и II (рис. 3.1) кинематически и динамически подобны, и найдем, каким условиям должны удовлетворять при этом их скорости, размеры и другие характерные для потоков величины. Иными словами, выведем *необходимые условия* динамического подобия потоков; достаточность этих условий будет доказана в гл. VI.