

как самолета в целом, так и отдельных его частей. Некоторые из этих вибраций могут привести к разрушению самолета, другие препятствуют пилотированию или нормальному самочувствию пассажиров и команды. Задача аэродинамики состоит в том, чтобы установить, так сказать, *запретные режимы полета*, при которых имеют место вибрации, или *разработать способы устранения вибрации и тряски*.

Таковы основные технические задачи, решаемые аэродинамикой в области авиации.

### § 3. Основные механические свойства жидкостей и газов. Сжимаемость; способы ее количественной оценки

Мы рассмотрим ряд общих для всех жидкостей и газов механических свойств, которые отличают их от твердых и упругих тел. Знание этих свойств даст нам возможность определить понятия жидкости и газа и затем — изучать механику жидкостей и газов.

Как известно из физики, механические связи между частицами жидкости и, еще в большей мере, между частицами газа весьма слабы. Поэтому частицы жидкостей и газов обладают весьма большой подвижностью. *Подвижность частиц и в связи с этим текучесть являются одним из основных общих механических свойств жидкостей и газов.*

Жидкости и газы способны в широких пределах деформироваться не только в том смысле, что они могут изменять свою форму, но и в том смысле, что они могут изменять также и свой объем. *Способность жидкостей и газов изменять свой объем под действием сжимающих усилий называется сжимаемостью.* Капельные жидкости обладают этим свойством в значительно меньшей степени, нежели газы, для которых уменьшение объема при сжатии ограничено только переходом вещества в жидкую фазу.

Для того чтобы количественно оценить сжимаемость различных жидкостей и газов, введем понятие о коэффициенте сжимаемости. Выделим мысленно объем  $V$  жидкости или газа. Допустим, что он находится под давлением  $p$ . Если это давление изменить на величину  $dp$ , то выделенный объем изменится на  $dV$ . Относительное изменение объема (относительная объемная деформация) будет равно  $dV/V$ . Величину этой деформации (взятую с обратным знаком), приходящуюся на единицу изменения давления, назовем коэффициентом сжимаемости и обозначим через  $\beta_p$ :

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \left[ \frac{\text{м}^2}{\text{кг}} \right]. \quad (1.1)$$

Знак минус поставлен здесь для того, чтобы  $\beta_p$  было положительной величиной, так как  $dV$  при сжатии есть величина отрицательная.

Из формулы для  $\beta_p$  следует, что изменение давления связано с относительной объемной деформацией соотношением

$$dp = -\frac{1}{\beta_p} \frac{dV}{V}.$$

Отсюда видно, что величина, обратная  $\beta_p$ , представляет собою объемный модуль упругости  $E$  данной жидкости или газа, т. е. коэффициент пропорциональности в выражении закона Гука:

$$E = \frac{1}{\beta_p} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \right].$$

Наряду с коэффициентом сжимаемости и модулем упругости сжимаемость жидкостей и газов может быть охарактеризована другими величинами, с которыми мы познакомимся в дальнейшем.

Коэффициент сжимаемости для данной жидкости или газа не является постоянной величиной. Он зависит от давления, под которым находится выделенный объем. Для газов  $\beta_p$  обратно пропорционально, и соответственно этому,  $E$  прямо пропорционально давлению  $p$ .

Опыты показывают, что сжимаемость капельных жидкостей во много раз меньше сжимаемости газов: так, например, сжимаемость воды в 13 900 раз меньше сжимаемости воздуха при давлении в одну атмосферу. Поэтому при решении многих вопросов механики капельных жидкостей их сжимаемостью можно пренебрегать и считать их, в отличие от газов, практически несжимаемыми. Так как законы движения оказываются во многом общими для жидкостей и для газов, то обычно объединяют те и другие под одним наименованием «жидкости», различая лишь жидкости несжимаемые (или капельные) и сжимаемые (газы).

Усилия, которые возникают в жидкостях и газах, при сжатии могут достигать огромных величин. Так, например, при уменьшении объема воды на 0,5% его первоначальной величины, в нем возникает давление в 100 атм ( $10^6 \text{ кг/м}^2$ ). Газы также легко воспринимают сжимающие усилия. Однако *ни жидкости, ни газы, вообще говоря, не выдерживают сколько-нибудь значительных растягивающих усилий*. При растяжении даже малыми усилиями в жидкостях, как правило, образуются разрывы, пустоты. Мы будем предполагать в дальнейшем, что жидкости и газы не выдерживают никаких растягивающих усилий и, следовательно, при отсутствии разрывов и пустот отсутствуют и растягивающие усилия.

*Все жидкости изменяют свой объем также и при изменении температуры.* Для того чтобы количественно оценить это свойство жидкостей, воспользуемся понятием о коэффициенте теплового расширения. Назовем коэффициентом теплового расширения  $\beta_t$  величину, равную относительной объемной деформации, приходящуюся

на единицу изменения температуры  $T$ :

$$\beta_T = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \left[ \frac{1}{град} \right].$$

Величина  $\beta_T$  для данной жидкости зависит от температуры. При малых изменениях температуры можно приближенно считать  $\beta_T$  постоянной величиной; тогда получается линейная зависимость объема жидкости от температуры:

$$V = V_0 [1 + \beta_T (T - T_0)],$$

где  $V_0$  есть объем при некоторой начальной температуре  $T_0$ .

Все жидкости и газы, кроме уже перечисленных механических свойств, обладают также в той или иной мере *вязкостью*. Это свойство будет рассмотрено в следующем параграфе.

#### § 4. Вязкость; ее происхождение у жидкостей и у газов

*Вязкостью называется способность жидкостей и газов сопротивляться усилиям, касательным к поверхности выделенного объема, т. е. усилиям сдвига.* Более вязкой считается та жидкость, в которой при прочих равных условиях касательные усилия больше. Мы будем рассматривать в настоящем курсе главным образом мало-вязкие жидкости (как вода, воздух и т. д.). К жидкостям с большой вязкостью относятся глицерин, минеральное масло, патока и др.

Следует иметь в виду, что возникновение касательных усилий в жидкостях и газах влечет за собой изменение усилий сжимающих, нормальных к поверхности выделенного объема, и таким образом, вязкость проявляется не только непосредственно в касательных усилиях, но косвенным образом и в нормальных.

Касательные усилия в жидкостях и газах возникают при перемещении частиц друг относительно друга или относительно поверхностей, ограничивающих жидкость или газ (стенки трубопровода, поверхность крыла и т. д.). Если жидкость находится в покое, то касательные усилия мы будем считать отсутствующими. В действительности у маловязких жидкостей трение покоя существует, но весьма мало.

У капельных жидкостей вязкость является свойством, обратным текучести, т. е. подвижности частиц: чем больше вязкость, тем меньше текучесть. Вязкость у капельных жидкостей представляет собою проявление механических связей между частицами (сил сцепления). Под действием этих механических связей молекулы жидкостей колеблются около своих средних по времени положений в пространстве. Так как кинетическая энергия колеблющейся молекулы возрастает с возрастанием температуры и ее колебательное движение при этом усиливается, то механические связи ослабевают с возрастанием температуры; поэтому вязкость капельных жидкостей уменьшается при