

он исходил из данных наблюдения и опыта и неизменно проверял выводы теории на практике.

Стремление к творческому взаимодействию теории и практики характерно для всей советской школы аэродинамики, как и вообще для всей современной подлинной науки, стоящей на позициях *диалектического метода познания действительности*:

«От живого созерцания к абстрактному мышлению и *от него к практике* — таков диалектический путь познания *истины*, познания объективной реальности» (В. И. Ленин)<sup>1</sup>).

Развившись на опытном и теоретическом материале других наук (гидравлики, баллистики и т. д.), многое позаимствовав из них, аэродинамика, под давлением все более усложняющихся практических запросов авиации, достигла за короткий срок (приблизительно пятьдесят лет) высокой степени развития и стала в свою очередь обогащать своими результатами другие отрасли науки и техники.

Так, например, аэродинамика крыла представляет собой основу расчета и конструирования современных быстроходных пропеллерных турбин и насосов. Газовая динамика получила теперь широкое применение не только в расчетах и конструировании скоростных самолетов и воздушных винтов, но также при проектировании паровых и газовых турбин, реактивных двигателей и ракет, в теории движения артиллерийских снарядов и т. д.

В настоящее время аэрогидромеханика является основой для расчета летательных аппаратов, гидравлических и газовых турбин, насосов, компрессоров и вентиляторов, гребных винтов, вентиляционных установок и гидротехнических сооружений. На ней базируется теория сопротивления движению судов, теория смазки, динамическая метеорология, теория движения грунтовых вод и, в значительной мере, теория пластического деформирования металлов и теория теплопередачи. Короче говоря, во всех вопросах, где необходимо исследовать движение жидкости или газа, с успехом применяются законы аэрогидромеханики.

## § 2. Применение аэродинамики в авиационной и ракетной технике

В этом курсе рассматриваются применения аэродинамики главным образом к вопросам авиации. Поэтому следует сразу же конкретизировать, применительно к этим вопросам, общее определение аэродинамики, которое было дано в начале.

В аэродинамике летательного аппарата приходится рассматривать движение твердого или упругого тела в жидкой или газообразной среде. *Аэродинамика летательного аппарата является наукой о механическом взаимодействии между средой и движущимся*

<sup>1</sup>) Ленин В. И., Философские тетради, стр. 166, 1938.

в этой среде твердым или упругим телом. В большинстве задач, касающихся летательного аппарата, среду можно считать безграничной, а движущееся в ней тело — удобообтекаемым, т. е. имеющим относительно малое сопротивление<sup>1)</sup>).

Можно указать некоторые наиболее важные вопросы проектирования и расчета летательного аппарата, при которых применяются в качестве исходного материала результаты, полученные аэродинамикой,

Для расчета движения летательного аппарата, т. е. определения скорости, высоты и дальности полета, длины разбега при посадке и т. д. и для определения летных качеств аппарата (устойчивости, маневренности и др.), необходимо знание *результатирующих аэродинамических сил и моментов*, к которым приводится силовое взаимодействие среды и аппарата при разных скоростях и направлениях его движения. Определение этих сил и моментов составляет одну из основных задач аэродинамики. Сюда входят вопросы об определении лобового сопротивления, подъемной силы, аэродинамических моментов, действующих на крылья и оперение самолета, и т. д. Аэродинамика доставляет здесь необходимый материал для аэродинамического расчета и динамики самолета, которые затем, методами теоретической механики, определяют летные характеристики.

Вопросы расчета летательного аппарата на прочность, вибрации и деформации выдвигают перед аэродинамикой другую задачу, более сложную и трудную. Для этих расчетов необходимо знание того, *как распределены аэродинамические силы по поверхности летательного аппарата* в разных случаях движения. Следует отметить, что для аэродинамических сил характерно неравномерное распределение; местные нагрузки могут при этом достигать весьма больших величин, в особенности при больших скоростях полета.

При полете со скоростью, значительно превышающей скорость распространения звука, поверхность летательного аппарата подвергается существенному нагреву вследствие сжатия среды и ее трения. Знание величины этого нагрева необходимо как для расчета прочности и деформации аппарата, так и для проектирования охлаждающих устройств. В связи с этим перед аэродинамикой возникает задача расчета *температуры на поверхности тела и теплоотдачи среды*.

Аэродинамика в свою очередь предъявляет определенные требования к проектированию, производству, эксплуатации, наземному обслуживанию и ремонту летательного аппарата; эти требования зачастую определяют конструкцию, способ производства, режимы эксплуатации или формы обслуживания самолета.

При проектировании летательного аппарата возникает, во-первых, *задача выбора внешних форм* летательного аппарата и его частей. Было бы неправильно представлять себе, что для всех случаев суще-

---

<sup>1)</sup> Более точное определение удобообтекаемого тела будет дано в дальнейшем.

ствует наилучшая, так сказать, идеальная форма крыла, фюзеляжа и других частей самолета. На самом деле каждой скорости, грузоподъемности или другому условию, предъявляемому к самолету, отвечает своя, наилучшая с аэродинамической точки зрения, внешняя форма. Так, например, транспортный, тихоходный самолет должен иметь сравнительно толстые крылья, тогда как скоростному необходимы тонкие. Даже внешний вид удобообтекаемой формы изменяется при изменении скорости полета; для малых скоростей она закруглена спереди, для больших (сверхзвуковых) — заостренная. Задачей аэродинамики при проектировании является выбор наилучших внешних форм летательного аппарата соответственно техническим условиям, предъявляемым проектируемому объекту.

Во-вторых, при проектировании возникает *задача наиболее рационального размещения и взаимного расположения частей аппарата*. Дело в том, что всякая деталь, находящаяся в потоке, изменяет скорости, углы атаки, а следовательно, и аэродинамические силы потока, набегающего на другие детали. Например, за крылом при больших углах атаки образуется как бы застойная область, и если хвостовое оперение расположено так, что оно при этом попадает в застойную область, то эффективность его сильно снижается. Задачей аэродинамики является изучение взаимного влияния частей и выбор наиболее выгоднейшего (с аэродинамической точки зрения) расположения и, если нужно, сопряжения этих частей.

При производстве самолетов обычно получают отклонения их внешних форм и размеров от теоретических форм и размеров. Это является результатом погрешностей при изготовлении деталей и узлов, погрешностей сборочных приспособлений, погрешностей при отделке и окраске. Кроме того, при поточном или серийном производстве самолет обычно несколько отличается по своим внешним формам и отделке от опытного образца. Задачей аэродинамики является здесь *установление допустимых отклонений для размеров, формы и состояния поверхности* как отдельных частей, так и летательного аппарата в целом. Установление этих допустимых при производстве отклонений приобретает особое значение в последнее время в связи с тем, что при больших скоростях полета даже незначительная шероховатость поверхности или изменение формы крыла может повлечь за собою существенное снижение скорости или других летных данных выпускаемого самолета.

В полете, т. е. при эксплуатации самолета, возникают от действия приложенных к нему нагрузок деформации, которые несколько изменяют наружные формы и размеры частей и, следовательно, изменяют и действующие силы. Задача аэродинамики здесь заключается в *установлении величин деформаций, скоростей и нагрузок, допустимых при эксплуатации самолета*.

В полете от действия аэродинамических сил или аэродинамических сил и упругости конструкции могут возникнуть вибрации и тряска

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.