

страняется, взаимодействуя с безвихревым изентропийным осн. потоком. На основании ур-ния (*) можно получить в общем виде выражение для определения звукового давления. Однако практич. применение его ограничено вследствие сложности решения, поэтому в А. пользуются упрощающими предположениями и аналогиями.

Для турбулентных струй применяется аналогия Лайтхилла, согласно к-рой значения энтропии и плотности струи считаются постоянными и равными значениям этих величин в окружающей среде, а также считается, что излучение звука струей происходит в неподвижную среду; обратное воздействие излученного звука на поток при этом не учитывается. В этом случае ур-ние (*) принимает вид:

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c_0^2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_j^2} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j},$$

где тензор напряжения $T_{ij} = \rho_0 u_i u_j$, ρ_0 и c_0 — плотность и скорость звука в невозмущенной среде. Т. о., согласно аналогии Лайтхилла турбулентный поток вызывает такие флуктуации плотности и давления, к-рые образуются в стационарной среде под действием напряжений T_{ij} . Предположения, лежащие в основе теории Лайтхилла, справедливы при малых числах M потока (M — Маха число). При больших числах M становятся существенными эффекты рефракции и рассеяния звука, вызванные влиянием скорости потока в струе, и аналогия Лайтхилла неприменима. Для дозвуковых турбулентных струй Лайтхилл установил подтвержденный впоследствии экспериментально «закон восьмой степени» зависимости мощности шума от скорости истечения струи. В результате для турбулентной струи оказалось возможным найти спектр шума, создаваемого всей струей и её отд. участками, расположенными на разл. расстояниях от начала истечения. Турбулентная струя создаёт широкополосный, практически сплошной шум; максимум звуковой мощности наблюдается при Струхала числе $Sh = fD/v = 0.3$ (где D и v — диаметр и скорость струи в нач. сечении на выходе из трубы, сопла, f — характерная частота звуковых колебаний). Вблизи выходного сопла излучается высокочастотный шум, вдаль — низкочастотный. Осн. часть звуковой мощности (~80%) генерируется участком струи длиной, равной 10 диаметрам струи на выходе из сопла. При сверхзвуковых скоростях истечения в спектре шума струи отчетливо проявляются дискретные составляющие, обусловленные скачками уплотнения в струе и колебаниями всей струи.

Несмотря на то, что акустич. энергия струи составляет всего 0.1% её кинетич. энергии, с ростом мощности источников шума (реактивные и ракетные двигатели самолётов и ракет), шум, создаваемый струями, достигает высоких уровней, и поэтому разрабатываются эфф. меры по снижению шума выходящих струй, как активные, так и пассивные. Активные — предусматривают воздействие на процесс турбулентного перемешивания струи с окружающей средой с целью интенсификации перемешивания и уменьшения градиента ср. скорости, т. е. снижения шума в источнике, пассивные — предназначены для снижения уже образовавшегося шума с помощью звукопоглощающих конструкций и материалов и установки преград на пути распространения звука.

Для воздушных винтов используется подход Гутина, в к-ром действие движущихся лопастей на окружающую среду заменяется моделью источников в виде элементарных сил давления, распределённых по лопасти, и моделью источников, обусловленных вытеснением среды телом лопасти. Спектр шума винта имеет гармонич. составляющие, частота к-рых пропорциональна произведению числа лопастей на число оборотов винта; в спектре также присутствуют составляющие широкополосного шума обтекания лопасти и дискретные составляющие, обусловленные вытеснением объёма среды лопастью. Шум других лопаточных машин (компрес-

сор, вентилятор, турбина) аналогичен шуму винта, однако в спектре их снижается доля дискретных составляющих и возрастает роль вихревого шума обтекания, что обусловлено увеличением числа лопастей (лопатонок) и скоростью вращения машины. В ряде случаев скорость обтекания достигает скорости звука и даже становится больше её, что приводит к возрастанию вихревого шума и появлению звуковых колебаний, связанных с появлением ударных волн. Большую роль в образовании шума многоступенчатых лопаточных машин играют нестационарные аэродинамич. нагрузки на лопасти, обусловленные влиянием аэродинамич. следа от лопастей предыдущего аппарата. Снижение шума таких источников достигается в результате уменьшения окружной скорости, увеличения расстояния между направляющим аппаратом и рабочим колесом, увеличения числа и ширины лопастей у воздушного винта и т. д.

Значит, внимание в А. уделяется вопросам распространения звука в канале с импедансными стенками (см. *Импеданс акустический*), что обусловлено необходимостью создания глушителей шума, обеспечивающих снижение шума по пути его распространения. Решение ур-ния (*) позволяет для известного в нач. сечении канала звукового поля подобрать импеданс стенок, обеспечивающий макс. снижение шума в выбранном диапазоне частот. Выбор характеристик импеданса определяется уровнем звукового давления в канале, скоростью потока и параметрами пограничного слоя на стенке. Наличие газового потока в канале, движущегося в направлении распространения звуковой волны, приводит к снижению затухания в области низких частот и увеличению его в области высоких по сравнению с затуханием в канале без потока. При распространении звука против потока затухание увеличивается на низких частотах и уменьшается на высоких.

Лит.: Гутин Л. Я., О звуковом поле вращающегося воздушного винта, «ЖТФ», 1936, т. 6, с. 399; Блохинцев Д. И., Акустика неоднородной движущейся среды, 2 изд., М., 1981; аэродинамический шум в технике, пер. с англ., М., 1980; Голдстейн М. Е., Аэроакустика, пер. с англ., М., 1981; Мулин А. Г., Кузнецов В. М., Демонтьев Е. А., Аэродинамические источники шума, М., 1981; Авиационная акустика, ч. 1—2, М., 1986; Light-hill M. J., On sound generated aerodynamically. I—II, «Proc. Roy. Soc. Ser. A», 1952, v. 211, № 1107, p. 564; 1954, v. 222, № 1148, p. 1. А. Г. Мулин.

АЭРОДИНАМИКА (от греч. αἴρ — воздух и δύναμις — сила) — раздел гидроаэромеханики, в к-ром изучаются законы движения воздушной (более общо — газообразной) среды и её силового взаимодействия с движущимися в ней твёрдыми телами, гл. обр. близкими по форме к используемым в авиации (крыло, удлиненное тело вращения и т. п.) и в ракетно-космич. технике (корпус ракеты, спускаемый аппарат и т. п.). Кроме собственно А. как общего раздела гидроаэромеханики, развились её нек-рые спец. прикладные области. Так, изучение движения самолёта в целом составило содержание А. самолёта, а отд. вопросы, потребовавшие углублённого рассмотрения движений самолёта и др. летат. аппаратов и их устойчивости, привели к появлению самостоят. отрасли — динамики полёта в атмосфере. Широкая область неавиаци. применений А. получила наименование промышленной А. К ней обычно относят теорию и расчёт воздуходувок, ветровых двигателей, струйных аппаратов (напр., эжекторов) и др.

Обширную область совр. прикладной А. составляет А. лопаточных машин — насосов, компрессоров, турбин и А. реактивных двигателей. Изучение движения тел в сильно разреженной атмосфере (на больших высотах) вызвало появление нового раздела А. — *динамики разреженных газов*. Интенсивное изучение вопросов до- и сверхзвуковых движений воздуха и вообще газов привело к развитию самостоят. раздела гидроаэромеханики — *газовой динамики*. В А. как простейший её раздел входит *аэростатики*.