

гию и металлургию возникла потребность в изучении движения сложных по хим. составу сред с одновременным существованием неск. фазовых состояний (газ — жидкость, газ — твёрдые частицы, жидкость — твёрдые частицы) и с учётом дробления и коагуляции частиц. Г. изучает движения как со скоростями порядка см/с и м/с (скорости морских и воздушных течений в океане и атмосфере), так и с космич. скоростями в десятках и сотнях км/с (скорости полёта спутников и космич. станций, скорости истечения из сопел ракетных и эл.-ракетных двигателей). Темп-ра среды изменяется от долей К в космосе до неск. тысяч К в камерах ракетных двигателей, вблизи тел, входящих в атмосферу Земли и др. планет и до миллионов градусов внутри Солнца и звёзд (астрофизика). В очень широких пределах изменяется и давление движущихся сред: от  $10^{-2}$ — $10^{-4}$  Па при истечении в вакуум (в космосе или в спец. испытат. барокамерах) до  $10^9$ — $10^{10}$  Па в иск-рых испытат. установках, на больших глубинах в океане и пр. Необходимость изучения турбулентных и др. пульсационных течений, детонации, сильных взрывов, включая ядерные, а также создание эксперим. установок с высокими параметрами, по очень коротким ( $10^{-2}$ — $10^{-6}$  с) временем работы повлекли за собой интенсивное исследование нестационарных процессов.

Изменение в широких пределах параметров сложной по составу изучаемой среды приводит к возникновению в ней физ.-хим. процессов, к-рые оказывают воздействие на законы её движения. По мере роста темп-ры движущегося газа возбуждаются вращат. и колебат. степени свободы молекул, происходит диссоциация двух- и многоатомных молекул, компоненты смеси газов выступают в хим. реакции между собой и с материалом поверхности обтекаемых тел. Параллельно с этими процессами при более высоких темп-рах начинается ионизация газа, вследствие чего он становится эл.-проводным, происходят электроионные переходы и связанное с ними излучение света и теплоты газовой смесью.

Возникновение физ.-хим. процессов в жидкостях и газах и одновременно существование разл. фазовых состояний сильно усложняют описание и изучение движения сплошных сред. В ур-ния (1)—(4) добавляются новые члены, учитывающие эти процессы, и в систему включаются новые ур-ния (ур-ния хим. кинетики, ур-ния переноса излучения и др.), что в большинстве случаев требует разработки новых методов решения. Для расчётов по этим ур-ниям необходимо знать скорости соответствующих физ. и хим. процессов и параметры, характеризующие взаимодействие нейтральных и заряж. частиц между собой и с обтекаемыми телами. К числу этих параметров относятся, в первую очередь, скорости разл. хим. реакций в сложных по составу смесях молекул и атомов, коэф. излучения и поглощения молекул разл. веществ в разл. областях спектра и в широком диапазоне изменения давлений и темп-р, эффективные сечения столкновения частиц и т. п.

**Прикладные задачи гидроаэромеханики.** Методами Г. решаются разл. техн. задачи во мн. отраслях науки и техники: в авиации, баллистике и ракетостроении, кораблестроении и энергомашиностроении, при создании хим. аппаратов и изучении биол. процессов (напр., кровообращения), задачи теплопередачи и переноса примесей, загрязняющих окружающую среду, гидро-техн. строительства, ветровой и гидроэнергетики, метеорологии и гляциологии, теории горения, взрыва, детонации, астрофизики и космогонии и т. п. Но все задачи Г. сводятся по существу к решению неск. осн. задач:

1. Определение сил сопротивления, действующих на движущиеся в жидкости или газе тела и их элементы, что даёт возможность найти необходимую мощность двигателей, приводящих тело в движение, и траектории движения тел. Силы сопротивления зависят от формы тела, поэтому возникает задача определения наиболее выгодной формы тел. Все тела, движущиеся под

воздействием силы тяги двигателей, должны иметь миним. аэродинамич. или гидродинамич. сопротивление, поэтому самолёты, ракеты, подводные и надводные корабли имеют вытянутую удлинённую (т. е. удобообтекаемую) форму. При спуске на планеты, обладающие атмосферой, спускаемые тела должны иметь др. форму, обеспечивающую большое *аэродинамическое сопротивление*, способствующее быстрому торможению в атмосфере, поэтому они имеют малое удлинение и плохо обтекаемую форму.

2. Определение наиболее выгодной формы каналов разл. газовых и жидкостных машин и их элементов: реактивных двигателей самолётов и ракет, газовых, водяных и паровых турбин эл.-станций, центробежных и осевых компрессоров и насосов, сопел и диффузоров и др.

3. Определение параметров газа или жидкостей вблизи поверхности твёрдых тел для учёта силового, теплового и физ.-хим. воздействия на них со стороны потока газа или жидкости (см. также *Аэродинамический нагрев, Теплозащита*).

4. Исследование движения воздуха в атмосфере и воды в морях и океанах с помощью ур-ний и методов Г. К этому же классу примыкают задачи о распространении ударных и взрывных волн и струй реакт. двигателей в воздухе и воде, о переносе примесей и выбросов в атмосферу и водоёмы и т. п. Цель решения подобных задач состоит в получении полных распределений (полей) параметров — темп-ры, давления, концентрации, влажности и т. п. — в зависимости от времени.

*Лит.: Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В., Теоретическая гидроаэромеханика, ч. 1, 6 изд., ч. 2, 4 изд., М., 1963; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Гидродинамика, 3 изд., М., 1986; Прандтль Л., Гидроаэромеханика, пер. с нем., М., 1949; Лойцянский Л. Г., Механика жидкости и газа, 5 изд., М., 1978; Кларк Л., Макчесн М., Динамика реальных газов, пер. с англ., М., 1967; Седов Л. И., Механика сплошной среды, т. 1—2, 4 изд., М., 1983—84.*

*С. Л. Вишневецкий.*

**ГИДРОДИНАМИКА** — раздел *гидромеханики*, в к-ром изучается движение несжимаемых жидкостей и их взаимодействие с твёрдыми телами или поверхностями раздела с др. жидкостью (газом). Осн. физ. свойствами жидкостей, лежащими в основе построения теоретич. моделей, являются непрерывность, или сплошность, лёгкая подвижность, или *текучесть*, и *вязкость*. Большинство капиллярных жидкостей оказывает значит. сопротивление сжатию и считается практически несжимаемыми.

Методы Г. позволяют рассчитывать скорость, давление и др. параметры жидкости в любой точке занятого жидкостью пространства в любой момент времени. Это даёт возможность определить силы давления и трения, действующие на движущееся в жидкости тело или на стенки канала (русла), являющиеся границами для потока жидкости. Методы Г. пригодны и для газов при скоростях, малых по сравнению со скоростью звука, когда газы ещё можно считать несжимаемыми.

В теоретич. Г. для описания движения несжимаемой ( $\rho = \text{const}$ ) жидкости пользуются *неразрывности уравнением*

$$\text{div } v = 0 \quad (1)$$

и *Навье — Стокса уравнениями*

$$\frac{dv}{dt} = F - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta v, \quad (2)$$

где  $v$  — вектор скорости,  $F$  — вектор внешних массовых сил, действующих на весь объём жидкости,  $t$  — время,  $\rho$  — плотность,  $p$  — давление,  $\nu$  — коэф. кинематич. вязкости. Ур-ние (2) приведено для случая постоянного коэф. вязкости. Искомые параметры  $v$  и  $p$  являются в общем случае ф-циями четырёх независимых переменных — координат  $x, y, z$  и времени  $t$ . Для решения этих ур-ний необходимо задать начальные и граничные условия. Нач. условиями служит задание в нач. момент времени (обычно при  $t=0$ ) области,