

тем-ре поверхности раздела, вычисленные с учётом энергии образования этих компонентов при стандартных условиях.

Подходящий к поверхности раздела конвективный тепловой поток удобно представлять в виде закона Ньютона:

$$q = \alpha (T_c - T_w), \quad (4)$$

где  $\alpha$  — коэф. конвективного теплообмена,  $T_w$  — тем-ра поверхности раздела,  $T_c$  — характерная тем-ра среды. В качестве  $T_c$  при обтекании тела безграничным равномерным потоком принимается тем-ра внеш. среды (при больших скоростях среды — тем-ра торможения, или т. н. «равновесная» тем-ра; см. *Аэродинамический нагрев*), при течении в трубах или процессах К. т. в замкнутых сосудах — среднemasовая тем-ра среды.

Описание процесса К. т. может быть представлено в безразмерном виде с использованием *подобия теории*. Интенсивность К. т. характеризуется безразмерным критерием — *Нуссельта числом*  $Nu = \alpha L / \lambda$ , где  $L$  — характерный размер. В случае К. т. при вынужденной конвекции осн. определяющим критерием является *Рейнольдса число*  $Re = \rho V L / \mu$ , где  $V$  — скорость среды,  $\mu$  — коэф. динамич. вязкости. Кроме числа Рейнольдса влияние на К. т. оказывает *Прандтля число*  $Pr = \mu c_p / \lambda$  и т. н. температурный фактор  $\bar{T}_w = T_w / T_c$ , учитывающий перемену теплофиз. свойств среды при изменении её тем-ры. В результате критериальный закон К. т. при вынужденной конвекции имеет вид

$$Nu = f(Re, Pr, \bar{T}_w). \quad (5)$$

Помимо перечисленных основных определяющих критериев на К. т. при вынужденной конвекции могут оказывать влияние и др. факторы. В частности, при больших скоростях полёта тела в атмосфере важную роль играет *Маха число*.

Вид зависимости (5) определяется геом. формой поверхности раздела и режимом её обтекания, в частности режимом течения в пограничном слое (ламинарным или турбулентным), наличием и положением зон отрыва потока (см. *Отрывное течение*). Критериальные законы К. т. в виде (5) могут быть получены как на основании теоретич. расчётов [напр., численным решением системы ур-ний (2) и др.], так и экспериментально — путём исследования теплоотдачи к моделям подобной геом. формы в представляющем интерес диапазоне изменения числа Рейнольдса и др. определяющих критериев. Напр., средний коэф. К. т. в случае поперечного обтекания цилиндра описывается с помощью степенной зависимости  $Nu = C Re^m Pr^n$ , причём  $C$  и  $m$  имеют разл. значение для разных диапазонов изменения числа Рейнольдса:

Re	C	m
5-80	0,923	0,40
80-5·10 <sup>3</sup>	0,792	0,46
5·10 <sup>3</sup> -5·10 <sup>4</sup>	0,225	0,60
>5·10 <sup>4</sup>	0,0262	0,80

При свободной (естественной) конвекции осн. определяющим критерием К. т. является *Грасофа число*  $Gr = g L^3 \beta_T \Delta T / \nu^2$ , где  $g$  — ускорение свободного падения,  $\beta_T$  — коэф. объёмного температурного расширения среды,  $\nu = \mu / \rho$  — коэф. кинематич. вязкости,  $\Delta T$  — характерный перепад тем-р внутри среды. Критериальный закон принимает вид  $Nu = C_1 Gr^{m_1} Pr^{n_1}$ . При  $Pr \geq 0,5$  определяющую роль в процессе К. т. играет *Рэлея число*  $Ra$ , объединяющее критерии  $Gr$  и  $Pr$ :

$$Ra = Gr \cdot Pr = g L^3 \beta_T \Delta T / \nu a,$$

где  $a = \lambda / \rho c_p$  — коэф. температуропроводности среды. Напр., средний коэф. К. т. при свободной конвекции бесконечной среды око-

Gr	C	n
<10 <sup>-2</sup>	0,45	0
10 <sup>-2</sup> -5·10 <sup>2</sup>	1,18	1/8
5·10 <sup>2</sup> -2·10 <sup>7</sup>	0,54	1/4
>2·10 <sup>7</sup>	0,135	1/3

ло горизонтального цилиндра в случае  $Pr \geq 0,5$  описывается степенным законом:  $Nu = C Ra^n$ , причём  $C$  и  $n$  связаны с реализуемым режимом течения около цилиндра и могут быть приняты равными значениям, приведённым в табл.

В случае жидких металлов, для к-рых  $Pr \ll 1$ , определяющую роль в процессе К. т. при свободной конвекции играет комбинированный критерий

$$GrPr^2 = g L^3 \beta_T \Delta T / a^2.$$

При капиллярной конвекции осн. определяющими критериями К. т. являются числа Марангони  $Ma_1$  и  $Ma_2$ :

$$Ma_1 = \frac{L \Delta \sigma}{\rho \nu a}, \quad Ma_2 = \frac{Ma_1}{Pr} = \frac{L \Delta \sigma}{\rho \nu^2},$$

где  $\Delta \sigma = \int \left( \frac{\partial \sigma}{\partial T} \frac{dT}{ds} + \frac{\partial \sigma}{\partial c} \frac{dc}{ds} \right) ds$  — перепад поверхностного натяжения вследствие изменения тем-ры и концентрации  $c$  поверхностно-активного вещества вдоль свободной поверхности.

Лит.: Кутателадзе С. С., Основы теории теплообмена, 5 изд., М., 1979; Теплофизический справочник, 2 изд., т. 2, М., 1976; Кутателадзе С. С., Боршанский В. М., Справочник по теплопередаче, Л.—М., 1959; Теория теплообмена. Терминология, М., 1971; Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике, М., 1975; Проблемы космического производства, М., 1980.

Н. А. Англимов.

**КОНВЕКЦИОННЫЙ ТОК** в электродинамике — электрический ток, обусловленный движением заряд. среды или пучками заряд. частиц (электронов, ионов и т. п.). Плотность К. т.  $\vec{j}$ , обусловленную движением в пространстве одиночного точечного заряда  $e$ , можно представить в виде  $\vec{j} = e v_e(t) \delta(\vec{r} - \vec{r}_e(t))$ , где  $\vec{r}_e$  — радиус-вектор заряда,  $v_e = d\vec{r}_e/dt$  — скорость заряда,  $\delta(\vec{r})$  — *дельта-функция* Дирака. Любые макроскопич. токи являются результатом усреднения микроскопич. К. т., т. е. обусловлены конвекцией (перемещением) заряд. микрочастиц.

**КОНВЕКЦИЯ** (от лат. convectio — доставка) — перенос массы в результате перемещения сплошной среды (газа, жидкости). Существуют различные виды К. в зависимости от причин, её порождающих; наиболее распространённые — свободная, вынужденная и капиллярная К.

**С в о б о д н а я** (естеств.) К. возникает под действием архимедовых сил в поле силы тяжести, если имеют место неоднородности плотности в отд. местах среды, к-рые возникают в результате наличия в жидкости или газе разниц тем-р или концентраций примеси. Примером свободной К. является движение воздуха в помещении при наличии отопительного прибора (радиатора или печи). При увеличении тем-ры плотность газов уменьшается и нагретый воздух всплывает наверх, а его место занимает более холодный воздух, опускающийся вниз в др. части помещения. В результате в помещении развивается вихревое движение воздуха. Свободная К. играет важную роль как в технике, так и в природе, она определяет вертикальные перемещения воздушных масс в атмосфере и водных масс в морях и океанах. См. также *Конвективный теплообмен*.

**В ы н у ж д е н н а я** К. вызывается внеш. механич. воздействием на среду. Примерами вынужденной К. являются движение воздуха в помещении под действием вентилятора, течение жидкости в трубе под действием гидронасоса и др. При движении тела в покоящейся среде относительное движение среды в системе координат, связанной с телом, также представляет собой частный случай вынужденной К. Физ. процессы, происходящие при вынужденной К., связанной с движением тел с большими скоростями в атмосфере, моделируются в *аэродинамических трубах*, где воспроизводится обтекание неподвижных моделей потоком воздуха.

**К а п и л л я р н а я** К. возникает в объёмах жидкости со свободной поверхностью при существовании вдоль такой поверхности перепадов поверхностного натяжения. Наиб. распространённой причиной появления