

Предполагалось, что температурный диапазон эксплуатации теплообменников составляет $80 \div 300$ К, в качестве рабочего тела используется азот, расход которого составляет $1,7 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

В табл. 1 показаны некоторые результаты конструктивных расчетов теплообменников с «шахматным» расположением каналов с толщиной стенок 3 мм и расстоянием между сетками 0,1 мм.

Как видно из таблицы, в теплообменниках с числом каналов $N_k = 4; 16; 25$ снижение эффективности за счет продольного теплопереноса несущественно и расчетные значения ϵ_1 совпадают с ϵ_0 , а гидравлические потери $\Delta p_{1,2}$ наибольшие. Когда число каналов $N_k = 49$, наблюдается снижение ϵ_1 до 0,96.

Увеличение размеров каналов также приводит к снижению эффективности ϵ_1 , что связано с увеличением площади поперечного сечения стенок теплообменника.

В таблице также показано влияние типа сетки на рассчитываемые параметры.

Расчетами было определено, что с изменением расстояния между сетками от 0,05 до 1 мм при постоянном значении ϵ_0 происходит снижение эффективности теплообменника на $2 \div 2,5$ %, которое вызвано изменением коэффициентов теплопередачи λ_{31} и теплопроводности λ_{32} .

Из полученных результатов видно, что для создания высокоэффективного теплообмена в сетчатых многоканальных рекуператорах необходим тщательный анализ влияния конструктивных параметров теплообменника с учетом всех факторов, определяющих тепловое состояние конструкции аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розен Л. И., Дулькин И. Н. Тепловой расчет оребренных поверхностей.— М.: Энергия, 1977.
2. Fleming R. B. A compact perforated-plate heat exchanger.— Adv. in Cryog. Eng., Plenum Press, New-York, 1969, v. 14, 193—203 pp.
3. Lins R. C., Elkan M. A. Design and Fabrication of compact, high-effetiveness cryogenic heat exchangers using wire mesh surfaces.— Adv in Cryog. Eng., 1975, v. 20, 283—300 pp.

Представлена кафедрой
криогенных установок

[1.9.1981]

УДК 536.253

ВВЕДЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЗАДАЧУ О ТЕПЛООБМЕНЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Канд. техн. наук, доц. М. М. СБИТНЕВА

Гомельский политехнический институт

Во многих инженерных задачах требуется расчет теплообмена вертикальной плоской поверхности с окружающей средой. Большая их часть решена эмпирически. Весьма узкий круг задач имеет приближенные решения. Среди них задача о теплообмене вертикальной плоской поверхности в стационарном режиме при свободной или вынужденной конвекции. Для нее известны приближенные решения Польгаузена [1]. Были получены оригинальные приближенные решения, учитывающие влияние вынужденной конвекции на свободную или свободной на вынужденную при условии малой скорости одного вида конвекции по сравнению с другим [2, 3].

Однако в инженерных задачах часто ставятся вопросы, связанные с теплообменом в условиях более сложных. К ним относится теплообмен при совместном действии свободной и вынужденной конвекции при любом соотношении их скоростей, а также в замкнутом объеме. Для этих задач известны только критериальные уравнения, полученные эмпирическим путем [4, 5]. Отсутствие приближенных решений для этих условий объясняется сложностью системы соответствующих дифференциальных уравнений.

Изменения условий теплообмена связаны с существенным изменением системы дифференциальных уравнений и, следовательно, методикой их решения. Так, при свободной и вынужденной конвекции Польшаузен должен был ввести совершенно различные безразмерные координаты и функции тока. Это привело к тому, что эти решения не могли быть использованы при расчете теплообмена при совместном действии свободной и вынужденной конвекции.

Проанализируем эти два решения Польшаузена для ламинарного течения и попытаемся найти общий вид записи как безразмерных исходных переменных, так и полученных результатов.

При решении дифференциальных уравнений движения и энергии в условиях свободной конвекции Польшаузен введены следующие безразмерная координата η и функция тока ψ :

$$\eta = cyx^{-0,25}; \quad (1)$$

$$\psi = 4v_c x^{0,75} \zeta(\eta), \quad (2)$$

а в условиях вынужденной конвекции —

$$\eta = U_{\infty}^{0,5} v^{-0,5} y x^{-0,5}; \quad (3)$$

$$\psi = (vx U_{\infty})^{0,5} f(\eta), \quad (4)$$

где $c = \left(\frac{g\beta\Delta t}{4v^2} \right)^{0,25}$ — коэффициент, $m^{-0,75}$; (5)

$$\beta = \frac{1}{T} \text{ — коэффициент линейного расширения, град}^{-1};$$

v — кинематическая вязкость, $m^2 \cdot c^{-1}$;

x, y — продольная и поперечная координаты, m ;

g — ускорение свободного падения, $m \cdot c^{-2}$;

U_{∞} — скорость вынужденного течения вне пограничного слоя, $m \cdot c^{-1}$;

$\zeta(\eta), f(\eta)$ — безразмерные функции тока, удовлетворяющие дифференциальному уравнению движения и энергии в случае свободной или вынужденной конвекции.

Из сопоставления выражений (1) и (3) видно, что даже вводимые безразмерные координаты имеют совершенно различную зависимость от исходных x и y . То же можно сказать и о функции тока, сопоставляя выражения (2) и (4).

В данной работе предлагается в запись исходных переменных ввести скорость свободной конвекции, характерную для каждого уровня по высоте теплоотдающей поверхности в следующем виде:

$$U_{xc} = 0,5(g\beta\Delta T x)^{0,5}. \quad (6)$$

Будем ее в дальнейшем называть характерной скоростью свободной конвекции на уровне x .

Введем характерную скорость в безразмерную координату и функцию тока (1) и (2) для свободной конвекции

$$\eta = U_{xc}^{0,5} v^{-0,5} y x^{-0,5}; \quad (7)$$

$$\psi = 4(vx U_{xc})^{0,5} \zeta(\eta). \quad (8)$$

Эти выражения для свободной конвекции качественно полностью

совпадают с аналогичной записью для вынужденной конвекции. При этом выражения (3) и (4) — обобщенные исходные переменные для обоих видов движения.

Искомые функции, т. е. продольная и поперечная составляющие скорости, в решении Польгаузена записываются:

для свободной конвекции

$$U = 4\sqrt{x}^{0,5} c^2 \zeta'; \quad (9)$$

$$V = \sqrt{x}^{0,25} (\eta \zeta' - 3\zeta); \quad (10)$$

для вынужденной

$$U = U_\infty f'; \quad (11)$$

$$V = 0,5 (\sqrt{U_\infty x^{-1}})^{0,5} (\eta f' - f). \quad (12)$$

При введении в искомые функции для свободной конвекции характерной для уровня x скорости получим следующие функции распределения продольной и поперечной скоростей в пограничном слое:

$$U = 4U_{xc} \zeta'; \quad (13)$$

$$V = (\sqrt{U_{xc} x^{-1}})^{0,5} (\eta \zeta' - 3\zeta). \quad (14)$$

Из сравнения выражений (11) и (12) для вынужденной конвекции и записанных через обобщенные переменные зависимостей (13) и (14) для свободной конвекции видно, что искомые функции по форме записи в обоих случаях мало отличаются друг от друга. Различие в записи для продольной составляющей скорости заключается только в появлении численного коэффициента.

Сравним более детально выражения (11) и (13) для продольной составляющей скорости в пограничном слое при вынужденной и свободной конвекции. При вынужденной конвекции функция распределения скорости в точке ее максимума равна единице, из выражения (11) следует, что

$$U = U_\infty. \quad (15)$$

Из решения Польгаузена для свободной конвекции известны функции распределения скорости при различных физических свойствах среды. Из зависимости максимума первой производной безразмерной функции тока от Pr можно определить, что при $Pr=1$ максимум функции распределения скорости равен 0,25. Безразмерная координата при этом равна единице. Из выражения (13) следует, что в этой точке продольная скорость равна характерной

$$U = U_{xc}, \quad (16)$$

т. е. при критерии Прандтля, равном единице, условие (16) для свободной конвекции совпадает с условием (15) для вынужденной. Численный коэффициент, появившийся в формуле (13), в отличие от формулы (11) способствует этому. Он корректирует величину функции ζ' в обобщенной форме записи продольной скорости.

Если окружающей средой является воздух и критерий Прандтля равен 0,73, то $\zeta' = 0,27$. Максимальное значение продольной скорости в пограничном слое больше характерной

$$U = 1,08 U_{xc}. \quad (17)$$

Если для окружающей среды $Pr > 1$, то максимальное значение продольной скорости меньше характерной. Из совокупности этих выводов:

$$U > U_{xc} \text{ при } Pr < 1;$$

$$U = U_{xc} \text{ при } Pr = 1; \quad (18)$$

$$U < U_{xc} \text{ при } Pr > 1$$

следует физический смысл характерной скорости. Характерной скоростью на уровне x при свободной конвекции у вертикальной теплоот-

дающей поверхности является максимальная продольная скорость среды, критерий Прандтля которой равен единице.

Из расчетной формулы (6) для характерной скорости следует, что она увеличивается с ростом высоты уровня x . Однако для некоторых расчетов требуются усредненные значения скорости. Среднеинтегральная величина характерной скорости для теплоотдающей плоской вертикальной поверхности высотой l

$$U_c = 0,33 (g\beta\Delta T l)^{0,5}. \quad (19)$$

Введение характерной скорости не затрудняет расчета пограничного слоя. Ее значения для различных уровней теплоотдающей поверхности легко определяются по формуле (6). Значение характерной скорости на различных уровнях, а также ее среднеинтегральное значение для теплоотдающей поверхности высотой 2,5 м при температурном напоре 10, 20 и 30 °С занесены в табл. 1 (скорость дана в мс^{-1}).

Таблица 1

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$x, \text{ м}$					Среднеинтегральное значение
	0,5	1	1,5	2	2,5	
10	0,2	0,29	0,36	0,41	0,45	0,3
20	0,28	0,41	0,51	0,58	0,64	0,42
30	0,34	0,5	0,62	0,71	0,78	0,51

Зная функцию распределения скорости в пограничном слое для сред с различными физическими параметрами из решения Польшаузена и характерную скорость свободной конвекции при заданном температурном напоре, легко определить по формуле (13) продольную скорость свободного течения в любой точке. Этот расчет аналогичен расчету продольной скорости для вынужденной конвекции по формуле (11).

Полученные результаты дают возможность:

1) используя обобщенные переменные, построить совмещенные графики продольной или поперечной составляющей скорости в пограничном слое при свободной и вынужденной конвекции;

2) сравнить скорости естественной и вынужденной конвекции и оценить их влияние на теплообмен с окружающей средой;

3) рассчитать по единой методике при принципиально различных видах конвекции теплообмен в таких сложных случаях, как совместное действие свободной и вынужденной конвекции и теплообмен в замкнутом объеме.

ВЫВОДЫ

1. Определена функция характерной скорости свободной конвекции, приводящая к единой форме переменных для свободной и вынужденной конвекции.

2. С помощью функции характерной скорости через обобщенные переменные получены решения уравнений движения как при свободной, так и при вынужденной конвекции.

3. Созданы предпосылки для решения задачи о теплообмене при совместном действии свободной и вынужденной конвекции на базе решений Польшаузена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя.— М.: ИЛ, 1956.—528 с.
2. Шевчик А. А. Совместное действие вынужденной и свободной конвекции при ламинарном течении.— Теплопередача, 1964, № 4, с. 8.

3. Эшги В. Г. Влияние вынужденного течения на поток и теплообмен при свободной конвекции.— Теплопередача, 1964, № 2, с. 6.

4. Титов В. П., Хачикян О. Е. Экспериментальное исследование конвективного теплообмена на поверхности охлаждающих панелей.— В сб.: Теплофизические вопросы панельно-лучистого охлаждения помещения. М., 1964. Вып. 48, с. 10.

5. Миссенар А. Лучистое отопление и охлаждение.— М.: Госстройиздат, 1961.— 130 с.

Представлена кафедрой
гидропневмоавтоматики

[12.5.1982]

НОВЫЕ КНИГИ

Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: Учеб. пособие для вузов.— Л.: Энергоиздат, 1982.— 392 с.— 1 р. 20 к. 40 000 экз.

Бондаренко В. П., Коба Н. Ф. Справочник прораба-электромонтажника.— Киев: Будивельник, 1982.— 238 с.— 1 р. 10 к. 72 000 экз.

Будзко И. А., Веников В. А. Современные проблемы энергетики СССР.— М.: Знание, 1982.— 64 с. 11 к. 29 750 экз.

Данилов А. А., Балашов А. А. Хозяйственный расчет низовых звеньев строительных организаций тепловых электростанций.— М.: Энергоиздат, 1982.— 88 с. 45 к. 3 000 экз.

Днепровский А. В., Фрейдман В. Б. Опалубочные работы при строительстве бетонных плотин.— М.: Энергоиздат, 1982.— 104 с.— 45 к. 2 300 экз.

Иванов А. А. Электротехника: Лабораторные работы. Для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— Киев: Вища школа, 1982.— 343 с.— 95 к. 12 000 экз.

Костюк А. Г. Динамика и прочность турбомашин: Учебник для вузов.— М.: Машиностроение, 1982.— 264 с.— 80 к. 3 800 экз.

Кочергин В. В. Следящие системы с гистерезисными муфтами.— Л.: Энергоиздат, 1982.— 126 с.— 35 к. 4 000 экз.

Крюков К. П. Переходы воздушных линий через большие водные пространства.— Л.: Энергоатомиздат, 1982.— 221 с.— 1 р. 10 к. 4 500 экз.

Леонтьев Д. И. Измерительные приборы и системы.— М.: Знание, 1982.— 64 с.— 11 к. 36 270 экз.

Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям.— 5-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. школа, 1982.— 216 с.— 65 к. 180 000 экз.

Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: Учебник для вузов.— 4-е изд. перераб. и доп.— М.: Транспорт, 1982.— 528 с.— 1 р. 50 к. 12 000 экз.

Белоусов А. П., Дашенко А. И. Основы автоматизации производства в машиностроении: Учебник для техникумов.— М.: Высш. школа, 1982.— 351 с.— 75 к. 30 000 экз.

Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.— 5-е изд., перераб.— М.: Энергоиздат, 1982.— 360 с.— 1 р. 40 к. 30 000 экз.

Стерман Л. С., Тевлин С. А., Шарков А. Т. Тепловые и атомные электростанции: Учебник для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Энергоиздат, 1982.— 456 с.— 1 р. 30 к. 8 000 экз.

Тарасов О. А., Шадявичус Я. Ш. ИГАЭС. Рожденная содружеством.— Ленинград: Лениздат; Вильнюс: Мокслас, 1982.— 135 с., ил.— 70 к. 4 000 экз.

Трансформаторы: Переводы докладов Междунар. конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-80) / Под ред. В. М. Погостина, С. И. Рабиновича.— М.: Энергоиздат, 1982.— 120 с.— 70 к. 1 413 экз.

Эпштейн И. И. Автоматизированный электропривод переменного тока.— М.: Энергоиздат, 1982.— 192 с.— 60 к. 13 000 экз.

Справочник теплоэнергетика предприятий цветной металлургии / Под ред. О. Н. Багрова, З. Л. Берлина.— М.: Металлургия, 1982.— 455 с.— 3 р. 10 к. 7 800 экз.

Итинская Н. И., Кузнецов Н. А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям: В вопросах и ответах.— М.: Колос, 1982.— 208 с. 65 к. 115 000 экз.— Для механизаторов сельского хозяйства.

Экономические проблемы рационального природопользования и охраны окружающей среды / Под ред. Т. С. Хачатурова.— М.: Изд-во МГУ, 1982.— 198 с.— 1 р. 4 500 экз.

Аколюзин П. А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования.— М.: Энергоиздат, 1982.— 303 с.— 1 р. 30 к. 14 000 экз.

Бондаренко С. И., Шерemet В. И. Применение сверхпроводности в магнитных изменениях.— Л.: Энергоатомиздат, 1982.— 131 с.— 40 к. 4 000 экз.

Быстров П. И., Михайлов В. С. Гидродинамика коллекторных теплообменных аппаратов.— М.: Энергоиздат, 1982.— 223 с.— 65 к. 3 500 экз.