

поверхности dF_1 в направлении элемента dF_2 , пропорционально произведению количества энергии, излучаемой по нормали dQ_n , на величину пространственного угла $d\omega$ и $\cos\varphi$, составленного направлением излучения с нормалью (рис.11.2):

$$d^2Q_n = dQ_n * d\omega * \cos\varphi. \quad (11.14)$$

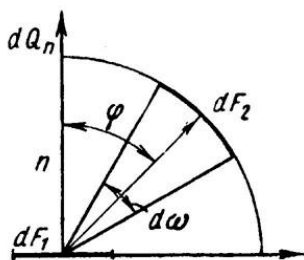


Рис. 11.2.

Следовательно, наибольшее количество лучистой энергии излучается в перпендикулярном направлении к поверхности излучения, т. е. при $(\varphi = 0)$. С увеличением φ количество лучистой энергии уменьшается и при $\varphi = 90^\circ$ равно нулю. Закон Ламберта полностью справедлив для абсолютно черного тела и для тел, обладающих диффузным излучением при $\varphi = 0 - 60^\circ$.

Для полированных поверхностей закон Ламберта неприменим. Для них лучеиспускание при угле φ будет большим, чем в направлении, нормальном к поверхности.

Тема 12. Теплопередача.

12.1. Теплопередача через плоскую стенку.

Теплопередачей называется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному теплоносителю через стенку, разделяющую эти теплоносители.

Примерами теплопередачи являются: передача теплоты от греющей воды нагревательных элементов (отопительных систем) к воздуху помещения; передача теплоты от дымовых газов к воде через стенки кипящих труб в паровых котлах; передача теплоты от раскаленных газов к охлаждающей воде (жидкости) через стенку цилиндра двигателя внутреннего сгорания; передача теплоты от внутреннего воздуха помещения к наружному воздуху и т. д. При этом ограждающая стенка является проводником теплоты, через которую теплота передается теплопроводностью, а от стенки к окружающей среде конвекцией и излучением. Поэтому процесс теплопередачи является сложным процессом теплообмена.

При передаче теплоты от стенки к окружающей среде в основном преобладает конвективный теплообмен, поэтому будут рассматриваться такие задачи.

1). Теплопередача через плоскую стенку.

Рассмотрим однослойную плоскую стенку толщиной δ и теплопроводностью λ (рис12.1).

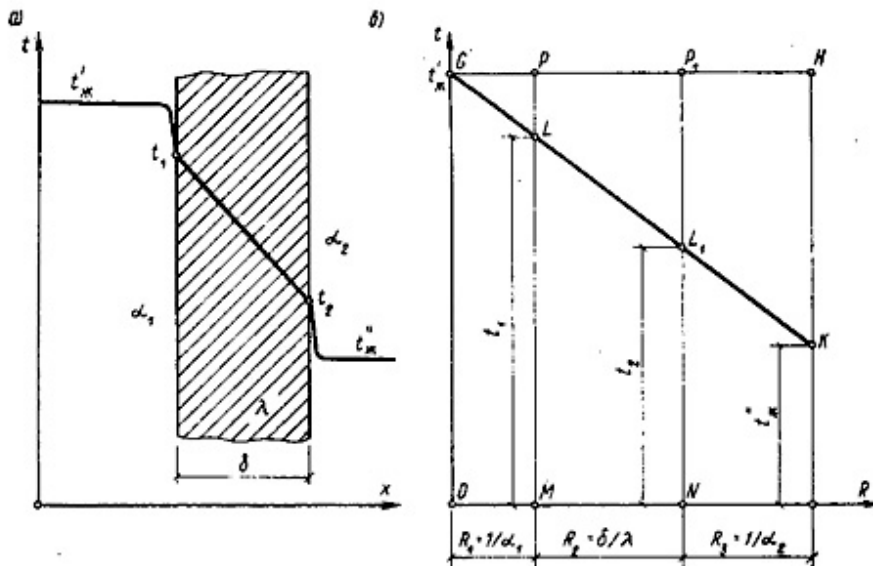


Рис. 12.1. Схема теплопередачи между двумя жидкостями через плоскую стенку (а) и графический способ определения температурного поля в стенке (б)

Температура горячей жидкости (среды) $t'_{ж}$, холодной жидкости (среды) $t''_{ж}$.
Количество теплоты, переданной от горячей жидкости (среды) к стенке по закону Ньютона-Рихмана имеет вид:

$$Q = \alpha_1 \cdot (t'_{ж} - t_1) \cdot F, \quad (12.1)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячей среды с температурой $t'_{ж}$ к поверхности стенки с температурой t_1 ;

F – расчетная поверхность плоской стенки.

Тепловой поток, переданный через стенку определяется по уравнению:

$$Q = \lambda / \delta \cdot (t_1 - t_2) \cdot F. \quad (12.2)$$

Тепловой поток от второй поверхности стенки к холодной среде определяется по формуле:

$$Q = \alpha_2 \cdot (t_2 - t''_{ж}) \cdot F, \quad (12.3)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от второй поверхности стенки к холодной среде с температурой $t''_{ж}$.

Решая эти три уравнения получаем:

$$Q = (t'_{ж} - t''_{ж}) \cdot F \cdot K, \quad (12.4)$$

где $K = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$ – коэффициент теплопередачи, (12.5)

или

$$R_0 = 1/K = (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2) - \text{полное термическое сопротивление теплопередачи через однослойную плоскую стенку.} \quad (12.6)$$

$1/\alpha_1, 1/\alpha_2$ – термические сопротивления теплоотдачи поверхностей стенки;

δ/λ – термическое сопротивление стенки.

Для многослойной плоской стенки полное термическое сопротивление будет определяться по следующей формуле:

$$R_0 = (1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_2), \quad (12.7)$$

а коэффициент теплопередачи:

$$K = 1 / (1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_2), \quad (12.8)$$

12.2. Теплопередача через цилиндрическую стенку.

Принцип расчета теплового потока через цилиндрическую стенку аналогична как и для плоской стенки. Рассмотрим однородную трубу (рис.12.2) с теплопроводностью λ , внутренний диаметр d_1 , наружный диаметр d_2 , длина l . Внутри трубы находится горячая среда с температурой $t_{ж}^{\prime}$, а снаружи холодная среда с температурой $t_{ж}^{\prime\prime}$.

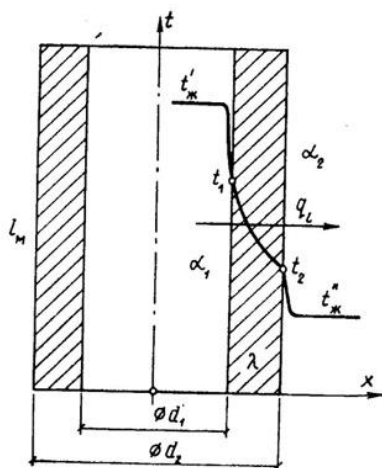


Рис. 12.2. Теплопередача между двумя жидкостями через цилиндрическую стенку

Количество теплоты, переданной от горячей среды к внутренней стенке трубы по закону Ньютона-Рихмана имеет вид:

$$Q = \pi \cdot d_1 \cdot \alpha_1 \cdot l \cdot (t_{ж}^{\prime} - t_1), \quad (12.9)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячей среды с температурой $t_{ж}^{\prime}$ к поверхности стенки с температурой t_1 ;

Тепловой поток, переданный через стенку трубы определяется по уравнению:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot l \cdot (t_1 - t_2) / \ln(d_2/d_1). \quad (12.10)$$

Тепловой поток от второй поверхности стенки трубы к холодной среде определяется по формуле:

$$Q = \pi \cdot d_2 \cdot \alpha_2 \cdot l \cdot (t_2 - t_{ж}^{\prime\prime}), \quad (12.11)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от второй поверхности стенки к холодной среде с температурой $t_{ж}^{\prime\prime}$.

Решая эти три уравнения получаем:

$$Q = \pi \cdot l \cdot (t_{ж}^{\prime} - t_{ж}^{\prime\prime}) \cdot K, \quad (12.12)$$

$$\text{где } K_1 = 1/[1/(\alpha_1 d_1) + 1/(2\lambda \ln(d_2/d_1)) + 1/(\alpha_2 d_2)] - \quad (12.13)$$

- линейный коэффициент теплопередачи,

$$\text{или } R_1 = 1/K_1 = [1/(\alpha_1 d_1) + 1/(2\lambda \ln(d_2/d_1)) + 1/(\alpha_2 d_2)] - \quad (12.14)$$

- полное линейное термическое сопротивление

теплопередачи через однослойную цилиндрическую стенку.

$1/(\alpha_1 d_1)$, $1/(\alpha_2 d_2)$ – термические сопротивления теплоотдачи поверхностей стенки;

$1/(2\lambda \ln(d_2/d_1))$ - термическое сопротивление стенки.

Для многослойной (n слоев) цилиндрической стенки полное линейное термическое сопротивление будет определяться по следующей формуле:

$$R_1 = 1/K_1 = [1/(\alpha_1 d_1) + 1/(2\lambda_1 \ln(d_2/d_1)) + 1/(2\lambda_3 \ln(d_3/d_2)) + \dots + 1/(2\lambda_n \ln(d_{n+1}/d_n)) + 1/(\alpha_2 d_n)] - (12.15)$$

12.3. Типы теплообменных аппаратов.

Теплообменным аппаратом называют всякое устройство, в котором одна жидкость — горячая среда, передает теплоту другой жидкости - холодной среде. В качестве теплоносителей в тепловых аппаратах используются разнообразные капельные и упругие жидкости в самом широком диапазоне давлений и температур. По принципу работы аппараты делят на регенеративные, смесительные и рекуперативные.

В регенеративных аппаратах горячий теплоноситель отдает свою теплоту аккумулирующему устройству, которое в свою очередь периодически отдает теплоту второй жидкости - холодному теплоносителю, т. е. одна и та же поверхность нагрева омывается то горячей, то холодной жидкостью.

В смесительных аппаратах передача теплоты от горячей к холодной жидкости происходит при непосредственном смешении обеих жидкостей, например смешивающие конденсаторы.

Особенно широкое развитие во всех областях техники получили рекуперативные аппараты, в которых теплота от горячей к холодной жидкости передается через разделительную стенку. Только такие аппараты будут рассмотрены в дальнейшем.

Теплообменные аппараты могут иметь самые разнообразные назначения — паровые котлы, конденсаторы, пароперегреватели, приборы центрального отопления и т. д.

Теплообменные аппараты в большинстве случаев значительно отличаются друг от друга как по своим формам и размерам, так и по применяемым в них рабочим телам. Несмотря на большое разнообразие теплообменных аппаратов, основные положения теплового расчета для них остаются общими.

В теплообменных аппаратах движение жидкости осуществляется по трем основным схемам.

Если направление движения горячего и холодного теплоносителей совпадают, то такое движение называется *прямотоком* (рис.12.3,а).

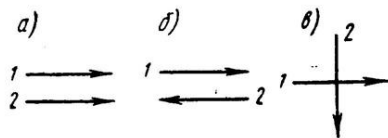


Рис. 12.3.

Если направление движения горячего теплоносителя противоположно движению холодного теплоносителя, то такое движение называется *противотоком* (рис.12.3,б). Если же горячий теплоноситель движется перпендикулярно движению холодного теплоносителя, то такое движение называется *перекрестным током* (рис.12.3,в). Кроме этих основных схем движения жидкостей, в теплообменных аппаратах применяют более сложные схемы движения, включающие все три основные схемы.

12.4. Расчет теплообменных аппаратов.

Целью теплового расчета является определение поверхности теплообмена, а если последняя известна, то целью расчета является определение конечных температур рабочих жидкостей. Основными расчетными уравнениями теплообмена при стационарном режиме являются уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_1 - t_2) ,$$

где Q — тепловой поток, Вт,

k - средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м²град), F — поверхность теплообмена в аппарате, м², t_1 и t_2 - соответственно температуры горячего и холодного теплоносителей.

Уравнение теплового баланса при условии отсутствия тепловых потерь и фазовых переходов:

$$Q = m_1 \cdot \Delta t_1 = m_2 \cdot \Delta t_2 ,$$

или

$$Q = V_1 \rho_1 \cdot c_{p1} \cdot (t'_1 - t''_1) = V_2 \rho_2 \cdot c_{p2} \cdot (t''_2 - t'_2), \quad (12.16)$$

где $V_1 \rho_1$, $V_2 \rho_2$ - массовые расходы теплоносителей, кг/сек, с

c_{p1} и c_{p2} - средние массовые теплоемкости жидкостей в интервале температур от t^i до t'' ,

t'_1 и t''_1 температуры жидкостей при входе в аппарат;

t'_2 и t''_2 - температуры жидкостей при выходе из аппарата.

Величину произведения

$$V \cdot \rho \cdot c_p = W, \text{ Вт/град}$$

называют *водяным*, или *условным, эквивалентом*.

С учетом последнего уравнение теплового баланса может быть представлено в следующем виде:

$$(t'_1 - t''_1) / (t''_2 - t'_2) = W_2 / W_1 , \quad (12.17)$$

W_2 , W_1 - условные эквиваленты горячей и холодной жидкостей.

При прохождении через теплообменный аппарат рабочих жидкостей изменяются температуры горячих и холодных жидкостей. На изменение температур большое влияние оказывают схема движения жидкостей и величины условных эквивалентов. На рис.12.4 представлены температурные графики для аппаратов с прямотоков, а на рис.12.5 для аппаратов с противотоком.

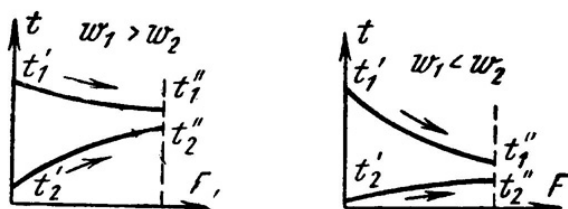


Рис. 12.4.

Как видно из рис.12.4, при прямотоке конечная температура холодного теплоносителя всегда ниже конечной температуры горячего теплоносителя. При противотоке (рис.12.5) конечная температура холодной жидкости может быть значительно выше конечной температуры горячей жидкости. Следовательно, в аппаратах с противотоком можно нагреть холодную среду, при одинаковых начальных условиях, до более высокой температуры, чем в аппаратах с прямотоком. Кроме того, как видно из рисунков, наряду с изменениями температур изменяется также и разность температура между рабочими жидкостями, или температурный напор Δt .

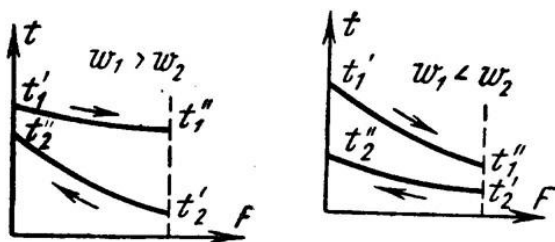


Рис. 12.5.

Величины Δt и k можно принять постоянными только в пределах элементарной поверхности теплообмена dF . Поэтому уравнение теплопередачи для элемента поверхности теплообмена dF справедливо лишь в дифференциальной форме:

$$dQ = k \cdot dF \cdot \Delta t \quad (12.18)$$

Тепловой поток, переданный через всю поверхность F при постоянном среднем коэффициенте теплопередачи k , определяется интегрированием уравнения (12.18):

$$Q = \int k \cdot dF \cdot \Delta t = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \quad (12.19)$$

где Δt_{cp} - средний логарифмический температурный напор по всей поверхности нагрева. Для случаев, когда коэффициент теплопередачи на отдельных участках поверхности теплообмена значительно изменяется, его усредняют:

$$k_{cp} = (F_1 \cdot k_1 + F_2 \cdot k_2 + \dots + F_n \cdot k_n) / (F_1 + F_2 + \dots + F_n).$$

Тогда при $k_{cp} = \text{const}$ уравнение (12.19) примет вид

$$Q = \int k_{cp} \Delta t \cdot dF = k_{cp} \cdot \Delta t_{cp} \cdot F \quad (12.20)$$

Если температура теплоносителей изменяется по закону прямой линии (рис. 12.6, пунктирные линии), то средний температурный напор в аппарате равен разности среднеарифметических величин:

$$\Delta t_{cp} = (t_1' + t_1'')/2 - (t_2' + t_2'')/2 \quad (12.21)$$

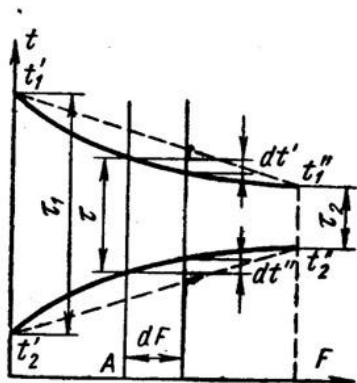


Рис. 12.6.

Однако температуры рабочих жидкостей меняются по криволинейному закону. Поэтому уравнение (12.21) будет только приближенным и может применяться при небольших изменениях температуры обеих жидкостей. При криволинейном изменении температуры величину Δt_{cp} называют *среднеарифметическим температурным напором* и определяется по формулам:

для аппаратов с прямотоком

$$\Delta t_{cp} = [(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')] / \ln[(t_1' - t_2') / (t_1'' - t_2'')] \quad (12.22)$$

для аппаратов с противотоком

$$\Delta t_{cp} = [(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)] / \ln[(t'_1 - t''_2)/(t''_1 - t'_2)] . \quad (12.23)$$

Численные значения Δt_{cp} для аппаратов с противотоком при одинаковых условиях всегда больше Δt_{cp} для аппаратов с прямотоком, поэтому аппараты с противотоком имеют меньшие размеры.

Тема 13. Энергетическое топливо.

13.1. Состав топлива.

Топливом называется горючее вещество, используемое в качестве источника получения теплоты в энергетических, промышленных и отопительных установках.

В зависимости от типа реакций, в результате которых выделяется теплота из топлива, различают органическое и ядерное топливо.

В настоящее время и по прогнозам до 2030 г. органическое топливо является основным источником энергии (теплоты) для промышленного использования.

Таблица 13.1.

Потребление органического топлива в 1993 г.

Потребитель	Вид топлива		
	Твердое	Жидкое	Газообразное
Во всем мире, млрд.т у.т.	3,21	4,29	2,66
Россия, млн.т у.т.	226	232	503

Примечание: у.т. – условного топлива

В органических топливах теплота выделяется в результате химической реакции окисления его горючих частей при участии кислорода, а в ядерных топливах – в результате распада деления ядер тяжелых элементов (урана, плутония и т.д.).

Таблица 13.2.

Классификация органических топлив по агрегатному состоянию.

Топливо	Агрегатное состояние		
	Твердое	Жидкое	Газообразное
Природное	Дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Нефть	Природный газ
Искусственное	Древесный уголь, полукокс, кокс, угольные и торфяные брикеты	Мазут, керосин, бензин, соляровое масло, газойль, печное топливо	Газы нефтяной, коксовый, генераторный, доменный, газ подземной газификации

Твердые и жидкие топлива состоят из горючих (углерода - С, водорода - Н, летучей серы - $S_L = S_{op} + S_k$) и негорючих (азота - N и кислорода - O) элементов и балласта (золы - А, влаги - W).

Элементарный состав твердого и жидкого топлива дается в процентах к массе 1 кг