

### Задание:

1. Составить конспект.
2. Выполнить тест согласно списку:

**Вариант 1:** Банкетов, Бузин, Волнухина, Ермиличев, Захарова;  
Краснощекова, Кузнецов, Медведева, Лынный; Мустафин;

**Вариант 2:** Неповиннова, Осипова, Пундикова, Санкевич, Сатин;  
Сердягин, Токторов, Ханвалиева, Хорошев, Щербаков

3. Ответы отправить на эл. почту [bandreeva68@mail.ru](mailto:bandreeva68@mail.ru) не позже 15.00 13.05.2020

### Виды передачи тепла теплопроводностью

В твердых телах, обладающих упорядоченной молекулярной структурой, распространение теплоты обусловлено преимущественно теплопроводностью.

Основной закон теплопроводности — закон *Фурье* гласит, что количество теплоты  $Q$ , передаваемой теплопроводностью в единицу времени через плоскую стенку, прямо пропорционально ее площади  $S$  и разности температур  $T_{ст1} - T_{ст2}$  ее поверхностей и обратно пропорционально толщине стенки  $\delta$ :

$$Q = (\lambda / \delta) S (T_{ст1} - T_{ст2}), \quad (4)$$

где  $\lambda$  — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности.

*Коэффициент теплопроводности* показывает, какое количество теплоты проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через стенку толщиной 1 м и площадью 1 м<sup>2</sup> при разности температур ее поверхностей 1 К. Размерность этого коэффициента — Вт/(м • К).

Значение коэффициента теплопроводности зависит от природы вещества и его температуры.

### Виды передачи тепла конвекцией и радиацией.

**Передача теплоты конвекцией.** Различают *естественную конвекцию*, при которой движение частиц вызвано разностью плотностей газа или жидкости в различных точках объема вследствие разности их температур в этих точках, и *принудительную конвекцию*, при которой перемещение газа или жидкости осуществляется специальными устройствами — мешалками, вентиляторами, насосами и др.

Согласно *закону Ньютона* количество теплоты  $Q$ , отдаваемой стенкой омывающей ее жидкости (или воспринимаемой стенкой от жидкости) в

единицу времени, прямо пропорционально площади  $S$  поверхности стенки и разности температур  $T_{ст} - T_{ж}$  стенки и жидкости:

$$Q = \alpha S (T_{ст} - T_{ж}),$$

где  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи ( $Вт/(м^2 \cdot К)$ ). Коэффициент теплоотдачи показывает, какое количество теплоты передается от  $1 м^2$  поверхности стенки к жидкости (или от жидкости к стенке) в течение  $1 с$  при разности температур стенки и жидкости  $1 К$ .

**Передача теплоты излучением.** Все тела способны излучать энергию в виде электромагнитных волн. Эта энергия поглощается другими телами, имеющими более низкую температуру, и превращается в теплоту. Тепловое излучение соответствует инфракрасной, не видимой глазом части спектра электромагнитных колебаний с длиной волны более  $0,8 мкм$ , являющейся продолжением ее видимой части. При температуре, превышающей  $600 °С$ , тепловое излучение приобретает доминирующее значение по сравнению с другими способами передачи теплоты.

Количество теплоты  $Q_{л}$ , переданное в единицу времени от более нагретого твердого тела с температурой  $T_1$  к менее нагретому телу с температурой  $T_2$ , позволяет определить уравнение

$$Q_{л} = C_{1-2}^{л} S [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \varphi$$

где  $C_{1-2}^{л}$  — коэффициент взаимного излучения, зависящий от взаимного расположения тел,  $Вт/(м \cdot К^4)$ ;  $S$  — площадь поверхности излучения,  $м^2$ ;  $T_1, T_2$  — абсолютные температуры нагретого и нагреваемого тел,  $К$ ;  $\varphi$  — угловой коэффициент, зависящий от размеров поверхностей и расстояния между ними.

Количество теплоты, отдаваемое или воспринимаемое стенкой площадью  $1 м^2$  за счет излучения в течение  $1 с$  при разности температур  $1 К$ , называется *коэффициентом теплоотдачи лучеиспусканием*  $a_{л}$ ,  $Вт/(м^2 \cdot К)$ .

### Процесс теплопередачи

В большинстве технологических процессов теплообмен между теплоносителями происходит через некоторую поверхность раздела. Этот вид теплообмена называется *теплопередачей*. Например, в трубчатых теплообменниках теплота передается через стенку трубы и два слоя загрязнений с обеих сторон стенки.

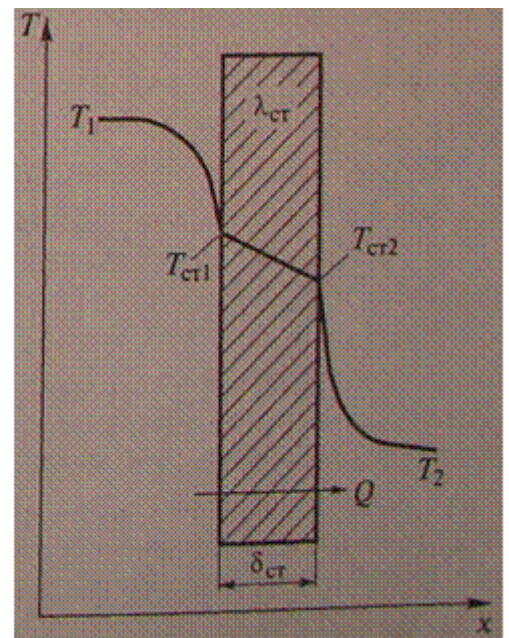
**Основное уравнение теплопередачи.** Количество теплоты, передаваемой в единицу времени, определяется *основным уравнением теплопередачи*.

$$Q = KS (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Численное значение *коэффициента теплопередачи*  $K$  определяется количеством теплоты, которое передается от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку площадью  $1 \text{ м}^2$  в течение  $1 \text{ с}$  при разности температур теплоносителей  $1 \text{ К}$ . Размерность коэффициента теплопередачи —  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Соотношение для расчета значения коэффициента теплопередачи можно получить, рассмотрев процесс передачи теплоты от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку.

**Рис. 12.1.** Характер изменения температуры при теплопередаче через плоскую стенку.  
 $T_1$  — температура горячего теплоносителя,  
 $T_2$  — температура холодного теплоносителя,  $T_{ст1}$  — температура стенки со стороны горячего теплоносителя,  $T_{ст2}$  — температура стенки со стороны холодного теплоносителя,  $\delta_{ст}$  — толщина стенки,  $\lambda_{ст}$  — коэффициент теплопроводности стенки,  $Q$  — количество теплоты, передаваемое в единицу времени от горячего теплоносителя к холодному



Коэффициент теплопередачи  $K$  можно определить (без учета загрязнений с обеих сторон стенки), решив уравнение

$$K = 1 / (1/\alpha_1 + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + 1/\alpha_2) \quad (5),$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  — коэффициенты теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке и от стенки к холодному теплоносителю соответственно;  $\lambda_{ст}$  — коэффициент теплопроводности стенки;  $\delta_{ст}$  — ее толщина .

**Движущая сила тепловых процессов.** Движущей силой тепловых процессов является разность температур взаимодействующих сред. В промышленной аппаратуре теплопередача обычно протекает при переменной температуре теплоносителей. Значения температуры теплоносителей изменяются вдоль поверхности разделяющей их стенки, поэтому в расчетах используют среднюю разность температур

$\Delta T_{cp}$  которая и должна войти в основное уравнение теплопередачи.

Количество теплоты, передаваемое в единицу времени через поверхность при теплообмене, пропорционально средней разности температур. Таким образом, основное уравнение теплопередачи принимает вид

$$Q = KS\Delta T_{cp} \quad (6)$$

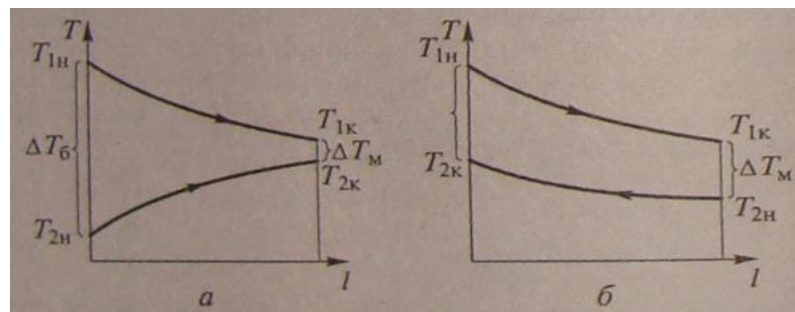


Рис. 1. Характер изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при их прямоточном (а) и противоточном (б) движении:  $T_{1н}$ ,  $T_{1к}$  — начальная и конечная температуры горячего теплоносителя;  $T_{2н}$ ,  $T_{2к}$  — начальная и конечная температуры холодного теплоносителя;  $\Delta T_6$ ,  $\Delta T_m$  — большая и меньшая разности температур теплоносителей

На рис. 1 показан характер изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при их прямоточном и противоточном движении. Один из теплоносителей охлаждается от температуры  $T_{1н}$  до  $T_{1к}$ , другой нагревается от  $T_{2н}$  до  $T_{2к}$ . При прямотоке разность температур теплоносителей на входе в теплообменник

$$\Delta T_6 = T_{1н} - T_{2н}, \text{ а на выходе из теплообменника } \Delta T_m = T_{1к} - T_{2к}$$

При противоточном движении теплоносителей значения  $\Delta T_6$  и  $\Delta T_m$  находят по начальным и конечным значениям температуры горячего и холодного теплоносителей.

При  $\Delta T_6 / \Delta T_m < 2$  средняя разность температур определяется как среднеарифметическая величина:

$$\Delta T_{cp} = (\Delta T_6 + \Delta T_m) / 2 \quad (7)$$

При более интенсивном теплообмене и больших значениях разности температур, т.е. при  $\Delta T_6 / \Delta T_m > 2$ , средняя разность температур будет среднелогарифмической величиной:

$$\Delta T_{cp} = (\Delta T_6 - \Delta T_m) / \ln(\Delta T_6 / \Delta T_m) \quad (8)$$

## Вариант 1

1. Движущей силой процесса теплопередачи является:
А) разность температур; В) разность давлений; С) разность скоростей движения теплоносителей; D) разность значений коэффициентов теплоотдачи; E) разность значений коэффициентов теплопроводности.
2. Наиболее выгодным направлением движения теплоносителей является:
А) прямоток; В) перекрёстный ток; С) смешанный ток; D) противоток; E) вибрационный ток.
3. В тепловых процессах тепло передаётся самопроизвольно:
А) от холодного потока к горячему потоку; В) от воздушной среды к дымовым газам; С) от горячего потока к холодному потоку; D) от токов высокой частоты к токам низкой частоты; E) от холодной воды к водяному пару.
4. Теплопроводность характерна для:
А) газообразных потоков; В) воздушных потоков; С) жидких сред; D) твёрдых тел; E) пластичных масс.
5. Количество теплоты, переданное теплопроводностью, определяется:
А) $Q = \lambda / \delta * S * (T_{ст1} - T_{ст2})$ ; В) $Q = RTV$ ; С) $Q = FKT$ ; D) $Q = FRC$ ; E) $Q = WDR/4$ .
6. Коэффициент теплопроводности есть величина обратная:
А) температуре; В) толщине стенки; С) давлению; D) расходу пара; E) уровню.
7. Конвекция бывает:
А) за счёт разности давлений; В) за счёт разности температур; С) за счёт разности уровней; D) вынужденной и естественной; E) только естественной.
8. Укажите уравнение теплоотдачи:

<p>A) <math>Q = K \cdot S \cdot (T_{ст1} - T_{ст2})</math>;          B) <math>Q = KFN</math>;          C) <math>Q = LK(T_2 - T_3)</math>;          D) <math>Q = E \cdot R \cdot T \cdot (F - F_2)</math>;          E) <math>Q = G \cdot C \cdot N \cdot (L_k - K_p)</math>.</p>
<p>9. Лучеиспускательная способность тела зависит от:</p> <p>A) размеров тела;          B) положения тела в пространстве;          C) угла падения света;          D) температуры поверхности тела;          E) формы тела.</p>
<p>10. Способы распространения тепловой энергии.</p> <p>A) циркуляцией потоков;          B) массообменном;          C) теплопроводностью, теплопередачей, теплоотдачей;          D) теплопередачей, вихревыми потоками;          E) лучеиспусканием, движением среды.</p>

## Вариант 2

<p>1. Конвекция бывает:</p> <p>A) за счёт разности давлений;          B) вынужденной и естественной;          C) за счёт разности уровней;          D) за счёт разности температур;          E) только естественной.</p>
<p>2. Укажите уравнение теплоотдачи:</p> <p>A) <math>Q = E \cdot R \cdot T \cdot (F - F_2)</math>;          B) <math>Q = KFN</math>;          C) <math>Q = LK(T_2 - T_3)</math>;          D) <math>Q = K \cdot S \cdot (T_{ст1} - T_{ст2})</math>;          E) <math>Q = G \cdot C \cdot N \cdot (L_k - K_p)</math>.</p>
<p>3. Лучеиспускательная способность тела зависит от:</p> <p>A) размеров тела;          B) положения тела в пространстве;          C) температуры поверхности тела;          D) угла падения света;          E) формы тела.</p>
<p>4. Способы распространения тепловой энергии:</p> <p>A) теплопроводностью, теплопередачей, теплоотдачей;          B) массообменном;          C) циркуляцией потоков;          D) теплопередачей, вихревыми потоками;          E) лучеиспусканием, движением среды.</p>

5. Движущей силой процесса теплопередачи является:
<p>А) разность скоростей движения теплоносителей;          В) разность давлений;          С) разность температур;          D) разность значений коэффициентов теплоотдачи;          E) разность значений коэффициентов теплопроводности.</p>
6. Наиболее выгодным направлением движения теплоносителей является:
<p>А) прямоток;                      В) перекрёстный ток;    С) смешанный ток;          D) вибрационный ток;    E) противоток.</p>
7. В тепловых процессах тепло передаётся самопроизвольно:
<p>А) от холодного потока к горячему потоку;          В) от воздушной среды к дымовым газам;          С) от токов высокой частоты к токам низкой частоты;          D) от горячего потока к холодному потоку;          E) от холодной воды к водяному пару.</p>
8. Количество теплоты, переданное теплопроводностью, определяется:
<p>А) <math>Q = \lambda / \delta * S * (T_{ст1} - T_{ст2})</math>;          В) <math>Q = RTV</math>;          С) <math>Q = FKT</math>;          D) <math>Q = FRC</math>;          E) <math>Q = WDR \setminus 4</math>.</p>
9. Теплопроводность характерна для:
<p>А) газообразных потоков;          В) воздушных потоков;          С) жидких сред;          D) твёрдых тел;          E) пластичных масс</p>
10. Коэффициент теплопроводности есть величина обратная:
<p>А) температуре;          В) толщине стенки;          С) давлению;          D) расходу пара;          E) уровню.</p>